

Elisa Heinonen

Verkkotietojärjestelmän kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

5.5.2015

Tekijä Otsikko	Elisa Heinonen Verkkotietojärjestelmän kehittäminen
Sivumäärä Aika	43 sivua + 1 liite 5.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Ratkaisupäällikkö Niklas Saramäki Teknologiajohtaja, varatoimitusjohtaja Kirmo Uusitalo Lehtori Tuomo Heikkinen
<p>Tässä insinööriyössä tavoitteena oli kehittää Keypro Oy:lle verkkotietojärjestelmä ja selvittää järjestelmän tärkeimmät ominaisuudet. Tulevaisuudessa tarkoituksena on luoda verkkotietojärjestelmä erityisesti keski- ja pienjänniteverkoille, joten kantaverkkoja ei työssä tutkittu.</p> <p>Järjestelmän vaatimuksia tutkittiin selvittämällä, mitä sähköverkon suunnitteluun kuuluu ja millaisia laskentaominaisuuksia sähköverkkojen parissa työskennellessä tarvitaan. Koska verkkotietojärjestelmä on vahvasti graafinen käyttöliittymä, tutkittiin myös sähköverkkojen kuvantamisvaatimuksia. Lisäksi haastateltiin jakeluverkkoyhtiöiden edustajia. Haastatte- luissa keskityttiin Keypro Oy:n nykyisten ohjelmistojen käytettävyyteen ja verkkoyhtiöillä tällä hetkellä käytössä olevien verkkotietojärjestelmien arviointiin ja kehitystarpeisiin.</p> <p>Tuloksena saatiin listaus verkkotietojärjestelmän tärkeimmistä ominaisuuksista.</p>	
Avainsanat	verkkotietojärjestelmä, sähköverkko, laskenta, käytöntukijärjes- telmä, käytönvalvontajärjestelmä

Author Title	Elisa Heinonen Development of Network Information System
Number of Pages Date	43 pages + 1 appendix 5 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Niklas Saramäki, Solution Manager Kirmo Uusitalo, Chief Technology Officer, Vice President Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer
<p>The objective of this thesis was to develop a network information system for Keypro and to find out which are the system's most important features. The future goal is to create a network information system especially for medium and low voltage systems, so therefore high voltage systems were not included in this thesis.</p> <p>The system requirements were investigated by finding out what is included in the development process of electrical networks and what kind of calculus is needed when working with these networks. Since network information system is strongly a graphic interface, also network's imaging requirements were examined. Also representatives of distribution companies were interviewed. The focus of the interviews were usability of Keypro's current software and assessing and bringing out development needs in network information systems used by the distribution companies at the moment.</p> <p>As a final result, a list of the most important features of the network information system was created.</p>	
Keywords	network information system, electrical network, calculus, distribution management system, supervisory control and data acquisition system

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Verkkotietojärjestelmä	1
2.1	Keypro Oy	5
2.2	Tekla	7
2.3	ABB Open++ Integra	8
3	Sähköverkko ja sen suunnittelun osa-alueet	9
3.1	Sähköverkon suunnittelu	10
3.1.1	Keskijänniteverkon suunnittelu	12
3.1.2	Pienjänniteverkon suunnittelu	15
3.2	Verkon nykytila	16
3.3	Verkon kunnossapito	17
4	Verkkotietojärjestelmän laskennalliset ominaisuudet	17
4.1	Jännitteenalenema	18
4.2	Tehon jako	19
4.3	Oiko- ja maasulku	21
4.4	Sähköverkon luotettavuus	28
5	Verkkotietojärjestelmän graafiset ominaisuudet	30
5.1	Johdot ja kaapelit	31
5.2	Muuntajat	32
5.3	Generaattorit	33
5.4	Kuormat	34
6	Käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmät	34
7	Haastattelut	37
7.1	Helen Sähköverkko Oy	37
7.2	ESE-Verkko Oy	38
7.3	Valkeakosken Energia	41

8	Yhteenveto	42
	Lähteet	44
	Liite 1. Haastatteluiden kysymykset	

Lyhenteet

GIS	Graphic Information System
dms	käytöntukijärjestelmä
kV	kilovoltti
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
MAIFI	Momentary Average Interruption Frequency Index
PIH	eräs HTML-tyylinen tiedostomuoto, jossa käytetään Python-ohjelmoinnin koodeja

1 Johdanto

Sähkönjakeluverkot ovat osa yhteiskunnan infrastruktuuria ja ne ovat laajasti läsnä asuin- ja työympäristössä. Sähkönjakeluverkkojen tehokkaalla käytöllä ja kehittämisellä voidaan olennaisesti vaikuttaa sähkön kokonaishintaan ja sähkön laatuun. Työntekijöiltä vaaditaan tehokkuutta ja ripeää otetta työhön. Työssä käytettävien työkalujen on oltava tehokkaita, jotta työntekijä voi vastata näihin vaatimuksiin. Sähköverkon suunnittelu ja ylläpito on vaativaa erityisesti suurten tietomäärien takia. Tämä luo haasteen myös verkkotietojärjestelmälle. Jotta ohjelmisto olisi tarpeeksi monipuolinen, tarvitaan paljon eri ominaisuuksia ja toiminnallisuuksia. Ohjelmaa suunniteltaessa tulee tosin myös huomioida, että ohjelmasta ei muodostu liian raskas ja sekava. Tarpeelliset tiedot tulee löytyä nopeasti ja vaivattomasti.

Tässä työssä pohditaan verkkotietojärjestelmän vaatimuksia ja ominaisuuksia, joita tarvitaan sujuvaan työskentelyyn sähköverkkojen parissa. Verkkotietojärjestelmän vaatimusten selvittämiseksi tulee ymmärtää sähköverkon hallintaan käytettyjä toimia ja työvaiheita, joten tämän takia työssä on pyritty ottamaan kokonaisvaltaisesti huomioon sähköverkon eri аспектеja. Aluksi selvitetään, mitä verkkotietojärjestelmällä tarkoitetaan sekä esitellään Keypro Oy:tä ja kilpailevia verkkotietojärjestelmän kehittäjiä. Toisessa luvussa tutkitaan sähköverkon suunnittelua verkon elinkaaren aikana. Sitten selvitetään muutamia ohjelman kannalta oleellisia ominaisuuksia, kuten laskutoimintoja. Joka luvun mukana kulkee ajatus, kuinka verkkotietojärjestelmän tulisi toimia näissä tilanteissa. Apuna työssä on käytetty myös jakeluverkkoyhtiöille tehtyjä haastatteluita.

2 Verkkotietojärjestelmä

Verkkotietojärjestelmien kehitys alkoi 1960-luvulla, kun jakeluverkkojen tietoja alettiin hallinnoida automaattisella tietojen käsittelyllä. Laiterekisterien hallinnan jälkeen ohjelmaan liitettiin mahdollisuus lisätä tietoja verkon topologiasta. Kun järjestelmiin lisättiin myös asiakkaiden laskutustiedot, voitiin ohjelmalla laskea myös tehonjako- ja oikosulkulaskelmia. Nykyään verkkotietojärjestelmiin pystytään lisäämään myös karttatietoa. Tällaista ohjelmistoa kutsutaan graafiseksi tietokantaperusteiseksi verkkotietojärjestelmäksi, lyhyemmin GIS eli graphic information system. Sen tavallisimpia ominaisuuksia on, että käyttöliittymä on karttapohjainen, eri kohteiden

ominaisuustietoja voidaan tutkia ja luoda niistä erilaisia tietoikkunoita sekä verkkokuvaan voidaan liittää tuloksia verkon käytöstä ja toiminnasta. Lisäksi on olemassa niin sanottuja sijaintitietojärjestelmiä, joista selviää vain komponenttien tarkat maantieteelliset sijainnit. Verkkotietojärjestelmän pääasiallisia toimintoja ovat verkon suunnittelu ja ylläpito, johon sisältyy myös verkon seurantalaskenta.

Tietokantaperiaatteella toteutettu verkkotietojärjestelmä muodostuu tietokannasta, tietokannan hallinnoimiseen tarkoitettuun järjestelmästä sekä erilaisista sovelluksista, joissa hyödynnetään tietokannasta löytyviä sähköverkon tietoja. Käytettävyyden kannalta on tärkeää, että kaikki käytettävät sovellukset toimivat samanlaisella käyttöliittymällä, jolloin toiminnot ovat jokaisessa sovelluksessa samanlaisia. Kuvassa 1 on esitetty sovellusten kytkeytyminen tietojärjestelmään.



Kuva 1. Tietokantaperusteinen tietojärjestelmä [1, s. 266].

Sovelluksia voidaan mukauttaa kunkin sähkönjakeluyhtiön tarpeen mukaan. Sovellukset voidaan jakaa yleissovelluksiin sekä yleissuunnittelun, verkostosuunnittelun, rakentamisen, käytön ja kunnossapidon sovelluksiin. Lakervi ja Partanen [1, s. 267–268] ovat jaotelleet verkkotietojärjestelmän sovelluksia seuraavasti:

Yleissovelluksia

- graafisten, alfanumeeristen ja kuviin liittyvien tietojen ylläpito ja hallinta
- nykyisten ja suunniteltujen verkkojen, karttojen, kaavioiden, suunnitelmien, kuvatietojen yms. tulostaminen

- yhteenvetoja ja raportteja esimerkiksi verkkojen komponenttien määristä ja rakentamissuoritteista

Yleissuunnittelu

- alueellisten kuormitusennusteiden hallinta
- tavoiteverkkojen suunnittelu
- verkostoinvestointiohjelmien tuottaminen
- verkon siirtokapasiteetin hallinta ja kehitystavoitteiden asettaminen
- kokonaisvaltaista kehittämistä tukevien tunnuslukujen tuottaminen (esim. seurantalaskennan tulosityhteenvedot)

Verkostosuunnittelu

- verkostomuutosten teknis-taloudellinen suunnittelu ja vertailu
- verkostotöihin liittyvien suunnitelmadokumenttien tuottaminen (esim. suunnitelmakartat, työn perustiedot, kustannusarviot, rakenteet ja tarvikkeet)
- sopimusten hallinta (muuntamot, maankäyttö)
- rakennestandardien hallinta

Rakentaminen

- töiden ajoittaminen ja koordinointi
- resurssien käytön suunnittelu ja hallinta
- seuranta ja raportointi

Käyttö

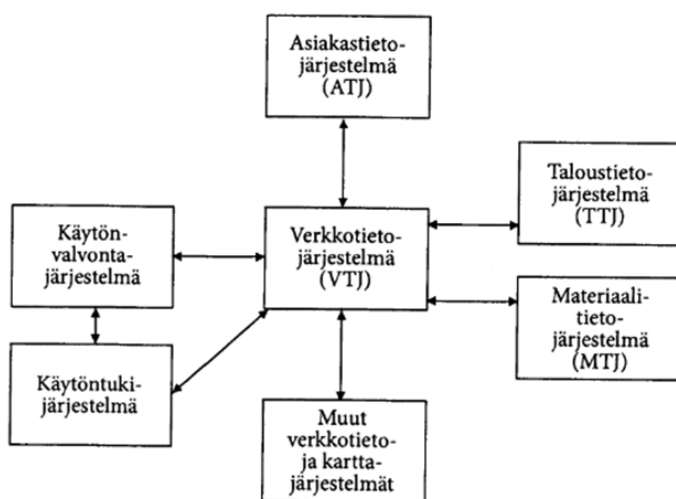
- verkon teknis-taloudellisen käytön suunnittelu
- sähkön siirron valvonta
- kytkentätilan hallinta
- kytkentöjen suunnittelu

- vikojen paikantaminen ja käytön palautus
- vikakeskuspalvelut
- vikaraportointi

Kunnossapito

- tarkastustietojen keruu ja ylläpito
- kunnossapito- ja laitetietojen analysointi
- historiatietojen hallinta
- tarkastus- ja huoltotöiden hallinta.

Verkkotietojärjestelmään voidaan tarpeen mukaan liittää myös muita tietojärjestelmiä. Näitä ovat esimerkiksi asiakastietojärjestelmä, josta selviää asiakas-, liittymä-, ja energiatietoja, käytönvalvontajärjestelmä, josta löytyy kytkinlaitteiden tilatiedot sekä sähköaseman lähtöjen ja kiskoston virta- ja jännitemittaustietoja, käytöntukijärjestelmä, jolla hallitaan ja ylläpidetään jakeluverkon kytkentätilannetta sekä hallitaan jakeluverkon häiriötilanteita, materiaalitietojärjestelmä tarviketietojen hallinnoimiseen, taloustietojärjestelmä työn perustietojen ja kustannusten hallintaan sekä maanmittauslaitoksen ja kaupungin karttajärjestelmät, joista löytyy taustakarttoja verkkotietojärjestelmää varten. Kuvassa 2 on esitetty erilaisten tietojärjestelmien yhdistäminen verkkotietojärjestelmään.



Kuva 2. Verkkotietojärjestelmän linkit muihin verkkoyhtiön järjestelmiin [1, s.267].

Verkkotietojärjestelmiä käytetään sekä itse verkostosuunnittelussa että myös suunnitelman dokumentoinnissa ja keskitettynä tietopankkina. Tärkeimpiä suunnittelun dokumentteja ovat erilaiset laskentalistaukset, joista ilmenevät suunnittelun verkoston mitoitukset ja sähkötekkinen tila sekä näitä havainnollistavat graafiset tulosteet. Suunnitelmat voidaan koota suunnitelmakartaksi, jossa esitetään purettavat vanhat johto-osuudet, rakennettavat uudet johdot, johdinvaihdot sekä kaikki vaadittavat tarvikkeet ja työt. Tarvikkeita käsitellään yleensä valmiina rakennepaketteina, jotka koostuvat yksittäistarvikkeista ja työmääristä sekä tarvittavista rakennekuvista. Suunnitelmaan liitettyjen rakennepakettien koosteesta saadaan luettelo kaikista suunnitelmaan liittyvistä tarvikkeista ja kokonaistymääristä. Tarvikeyhteenvedo on mahdollista siirtää suoraan materiaalinhallintajärjestelmään, jossa sitä voidaan hyödyntää suunnittelutyön vaiheesta riippuen tarvikevarauksena tai -tilauksena.

Verkkotietojärjestelmän hankinnassa ja käyttöönotossa on otettava huomioon sen soveltuvuus verkkoyhtiön tarpeisiin. Yhtiökohtaiset mukautukset ovat siis tarpeen. Kun verkkotietojärjestelmä otetaan käyttöön, täytyy tehdä laaja tiedon keruu, syöttäminen järjestelmään ja tietojen siirtäminen vanhoista järjestelmistä. Järjestelmän käyttötapojen tulee olla hyvin suunniteltuja ja määriteltyjä, jotta käyttöönotto onnistuu ongelmitta. [1, s. 265–272.]

2.1 Keypro Oy

Keypro on vuonna 1995 perustettu verkkotietojärjestelmiin erikoistunut paikkatietoalan yritys. Toimipisteet sijaitsevat Joensuussa ja Vantaalla. Henkilöstöä Keyprolla on noin 75 ja liikevaihto on noin 5 miljoonaa euroa. Keyprolla on tällä hetkellä yli 150 asiakasta, joita ovat mm. teleoperaattorit, vesiyhtiöt, energiayhtiöt, pääkaupunkiseudun satamat, Suomen liikelentokentät sekä useat kaupungit ja kunnat.

Keypron tuotevalikoimasta löytyy monia verkkotietotietojärjestelmiä eri verkkolajeille. KeyCom on tarkoitettu kiinteille televerkoille sekä mobiiliverkoille. Sen avulla voidaan dokumentoida ja hallinnoida koko televerkkoa kaapeleineen, johtoreitteineen ja komponentteineen. Sijainti- ja ominaisuustietojen hallinnan lisäksi KeyComilla voi hallita myös kohteiden välisiä loogisia kytkentöjä ja muodostaa näistä diagrammeja. Ohjelmistolla on mahdollista tutkia säiekytkentöjä yksityiskohtaisesti sekä tarkastella teletilojen laitteita ja niiden hierarkiaa.

KeyAqua on tarkoitettu vesi- ja viemäriverkkojen hallintaan. Kuten KeyComissa, myös KeyAquan avulla voidaan suunnitella ja ylläpitää verkostoa sekä hallita sen komponenttien sijainti-, kytkentä-, ominaisuus- ja viitetietoja. KeyAqualla on mahdollista suodattaa kartalla olevia kohteita esimerkiksi huollon tarpeiden ja erilaisten kriteerien avulla, kuten esimerkiksi tehtyjen TV-kuvausten perusteella. Verkkokartalla pystytään myös visualisoimaan verkoston kuntoa ja käyttötilaa.

KeyLight on suunniteltu katuvalaistusverkkojen ylläpitoon ja hallintaan. KeyLightista löytyvät pylväiden, kaapeleiden, valaisimien ja muiden valaistusverkon komponenttien sijainti-, yhteys-, ominaisuus- ja viitetiedot. Ohjelman avulla voidaan hoitaa koko verkkoinfrastruktuurin kuntoanalyysi kerralla ja luoda erilaisia raportteja esimerkiksi alueella tehdyistä saneeraustöistä ja huolloissa tarvittavien materiaalien määristä. KeyLight on integroitavissa muun muassa julkiseen vikailmoituspalveluun, jolloin katuvalaistuksesta huolehtiva yhtiö saa nopeasti tiedon viallisesta valaisimesta.

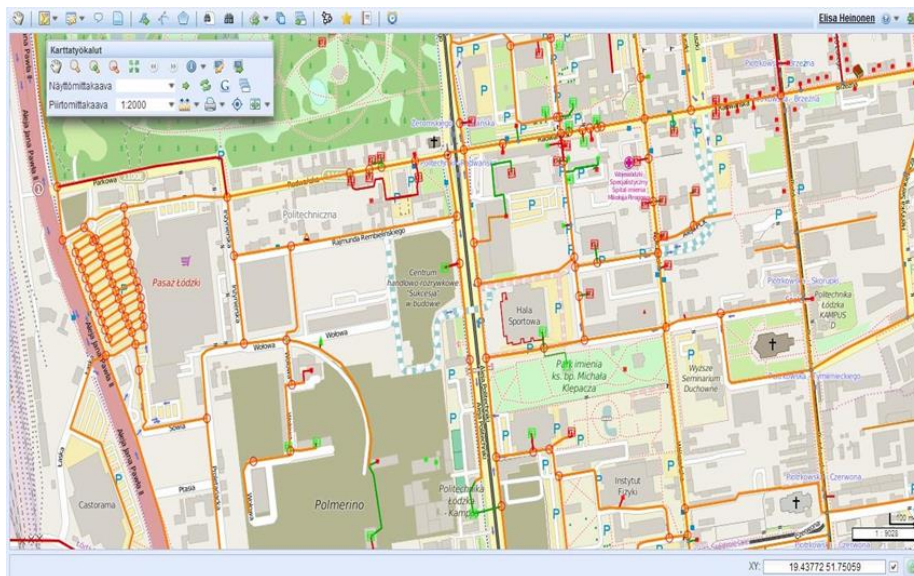
KeyMap on yhdistelmäjohtokarttajärjestelmä. Sen avulla voidaan yhdistää alueen vesi-, viemäri-, tele-, kaasu-, kaukolämpö- ja sähköverkot samaan karttaan. KeyMap voidaan tarvittaessa liittää lupa- ja raportointipalveluihin. Esimerkiksi se on mahdollista integroida Keypron Kaivulupa.fi-johtoselvityspalvelun kanssa, jolloin kaivajat saavat kaivutöitä suunnitellessaan ajantasaisen tiedon maanalaisista rakenteista.

Keypron kaikki tuotteet toimivat internetselaimen kautta. Tämä mahdollistaa ohjelmistojen käytön paikasta riippumatta ja ohjelmistoa voi käyttää rajoittamaton määrä henkilöitä samanaikaisesti. Kartat ja tiedot tallennetaan pilvipalveluun ja verkon tietoja sekä järjestelmää ylläpidetään Keypron palvelimilla. Tarvittaessa Keypron järjestelmiä voidaan ylläpitää myös asiakkaan omilta palvelimilta lisenssisopimuksena. Järjestelmiä on mahdollista käyttää myös mobiililaitteilla, jolloin esimerkiksi urakoitsija voi päivittää kentältä käsin kentällä tehdyt työt ja niihin liittyvät huomiot. Ohjelmistot on suunniteltu niin, että niihin on helppo integroida asiakashallinta-, toiminnanohjaus- ja provisiointijärjestelmät. Ohjelmistoihin on mahdollista integroida myös mittaustietoja suoraan kentältä lähetettäviä etäohjausjärjestelmiä.

Tällä hetkellä KeyEnergy tarkoittaa lähinnä sähkönjakeluverkon sijaintijohtokarttaa ja sitä pyöritetään samassa ympäristössä kuin KeyLightia. KeyEnergy on vain lanseerattu omana tuotenimenään erottautumaan sähkönjakeluverkon järjestelmäksi. Tarkoituksena

on kehittää KeyEnergyä siten, että se vastaisi sijaintijohtokartan lisäksi myös sähköjakeluverkon verkkotietojärjestelmän vaatimuksia. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että sijaintitiedon lisäksi KeyEnergyllä voisi hallita myös verkon laskentaa ja muita sähköjakeluverkon verkkotietojärjestelmän sisältämiä ominaisuuksia.

Todennäköisesti KeyEnergy-verkkotietojärjestelmä tullaan kehittämään KeyComin päälle, sillä KeyComissa on valmiiksi asiakasliitännätietoja ja tarkempaa kytkennällisyystietoa. Kuvassa 3 on esitetty, miltä KeyComin aloitusnäkymä näyttää tällä hetkellä.



Kuva 3. KeyComin aloitusnäkymä [2].

Valaistussuunnitteluun tarkoitetussa KeyLightista löytyy sähköjakeluverkon laskennallisuutta oikosulkulaskennan verran. Loput laskentaominaisuudet ja muut kohteet ja työkalut pitäisi vielä määritellä ja suunnitella. [2.]

2.2 Tekla

Tekla on luonut Trimble NIS – verkkotietojärjestelmän, jolla voidaan mallintaa ja hallita sähköverkkoihin ja sähköjakelutoimintaan liittyviä tärkeimpiä tietoja. Trimble NIS:ssä käytetään modulaarisia, prosessi- ja käyttäjäryhmäkohtaisia toimialasovelluksia, jotka helpottavat tarkoituksenmukaisten sovellusten hankintaa. Modulaarisia toimialasovelluksia käytetään verkon käyttötoiminnassa ja kunnossapidossa. Nämä sovellukset sisältä-

vät useita suunnittelun työvaiheita, kuten verkon suunnittelu ja rakentaminen, omaisuudenhallinta, verkkoinvestointien hallinta sekä verkon kunnossapito. Näiden lisäksi verkkotietojärjestelmästä löytyy myös monipuolinen verkostolaskentamahdollisuus.

Trimble NIS:ään on mahdollista liittää Trimble DMS. Se on keski- ja pienjänniteverkoille tarkoitettu käytöntukijärjestelmä, jolla voidaan ylläpitää ja valvoa sähkönjakeluverkon kytkentätilannetta sekä hallita jakelun häiriötilanteita. Trimble DMS:n automaation ja työkalujen avulla voidaan hallita kytkentätilanteita syöttöpisteeltä älykkäille mittareille asti. Käytöntukijärjestelmä toimii sähköasema-automaation ja mittaroinnin kanssa saumattomasti. Trimble DMS:ssä on toimintoja, joilla voidaan suunnitella tulevia toimenpiteitä ja kirjata erilaisia tapahtumia, kuten kytkentöjä, hälytyksiä, toimenpidelupia ja muita verkon käyttötoimintaan liittyviä turvallisuustoimenpiteitä. [3.]

2.3 ABB Open++ Integra

ABB:n Open++ Integra on Trimble NIS:n tapaan keski- ja pienjänniteverkoille suunnattu verkkotietojärjestelmä. Sillä voidaan seurata verkon sähköistä tilaa ja tehdä verkostosuunnittelua. Järjestelmä voidaan integroida muun muassa ABB:n omaan käytöntukijärjestelmään tai ilmajohtojen suunnittelujärjestelmään. Integra toimii Windows-tyylisellä käyttöliittymällä ja sitä voidaan käyttää joko yksittäisenä työasemana tai tiedostopalvelimeen liitettynä työasemana. Taustakartat voidaan valita rasteri- ja vektorikartoista. Myös kaaviomuotoinen esitystapa on saatavilla.

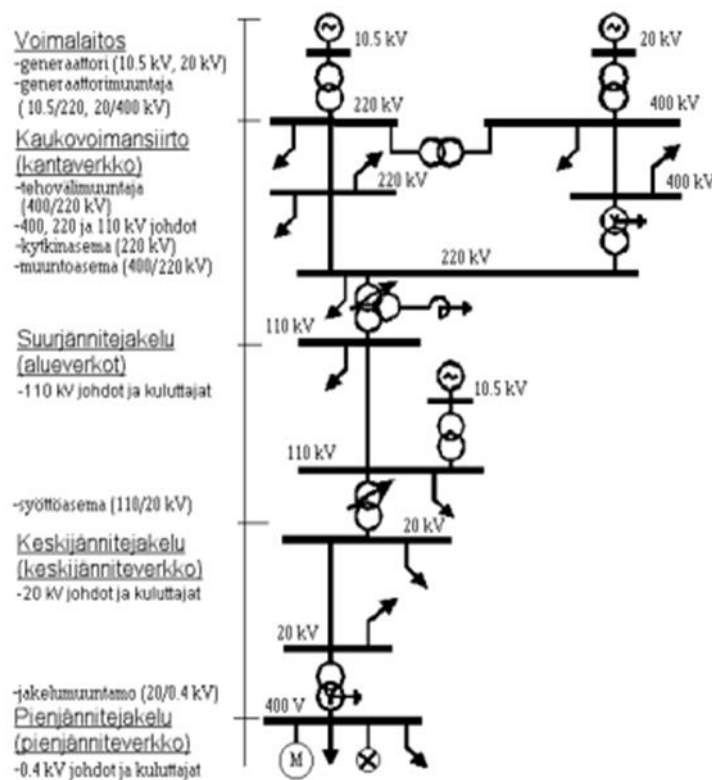
Integran työasemia voidaan käyttää samanaikaisesti. Ongelmana on, että käyttäjän tulee huolehtia, ettei samalle alueelle tehtyjä muutoksia päivitetä samanaikaisesti. Perusjärjestelmään on mahdollista lisätä erilaisia sovelluksia tarpeen mukaan. Näihin sovelluksiin kuuluvat esimerkiksi pienjänniteverkkojen hallinta, vapaamuotoiset tietokannat ja laitekortit sekä pylväs- ja kuntotietokannat.

Integran toimintatiloihin kuuluvat verkostolaskenta- ja selailutila, tietokannan ylläpitotila, suunnittelutila ja väliaikaisverkkotila. Verkostolaskenta- ja selailutilassa näytöllä näkyy verkkokuva, joka vastaa tietokantaan tallennettuja verkkotietoja ja kytkentätilaa. Mikäli halutaan muuttaa tai lisätä verkkoon liittyviä tietoja käytetään tietokannan ylläpitotilaa. Suunnittelutilassa käsitellään suunniteltavaa verkkoa ja simuloidaan sen toimintaa muun

muassa eri kuormitusilanteissa. Tätä tilaa on mahdollista käyttää ylläpitotilassa tai seilailutilassa, jolloin tietojen muokkaus ei ole mahdollista. Väliaikaisverkkotilassa käsitellään nimensä mukaisesti väliaikaisverkkoja. Nämä tiedot tallennetaan erilliseen väliaikaisverkkotiedostoon. [4.]

3 Sähköverkko ja sen suunnittelun osa-alueet

Sähköverkon pääasiallinen tehtävä on siirtää sähköenergiaa voimalaitoksista kuluttajille. Sähkönjakelujärjestelmään kuuluvat alueverkko, sähköasemat, keskijänniteverkko, jakelumuuntamot sekä pienjänniteverkko. Suomen päävoimansiirrosta käytettävän kantaverkon omistaa pääsääntöisesti Fingrid Oyj. Kantaverkkoon liitetyt jakelusiirtoverkot kuuluvat voimayhtiöille, kunnallisille tai yksityisille alueverkkoyhtiöille tai yksittäisille suurille sähkökuluttajille. Alue- ja jakelusiirtoverkoista eli ns. jakelusiirrosta vastaa sähköyhtiöt.



Kuva 4. Siirto- ja jakeluverkon periaatekaavio [5, s. 55].

Jakelujärjestelmä koostuu monista eri komponenteista ja johdoista. Näitä ovat muun muassa sähköasemat, jakelumuuntamot, keskijännitejohdot ja pienjännitejohdot. Kuvassa

4 on esitetty siirto- ja jakeluverkon periaatekaavio. Primäärikomponenttien lisäksi jakeluverkkoon kuuluvat myös niin sanotut sekundääriset laitteet ja järjestelmät. Niihin kuuluvat muun muassa sähköasemilla olevat suojareleet ja apujännitejärjestelmät, käyttökeskuksissa käytetyt käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmät, tiedonsiirto- ja radiopuhelinjärjestelmät sekä muut tietojärjestelmät kuten verkkotietojärjestelmät, asiakastietojärjestelmät ja materiaalin hallintajärjestelmät. Primäärikomponenttien pitoajat ovat tavallisesti 30–50 vuotta ja sekundääristen komponenttien pitoajat ovat lyhyitä, vaikkakin muihin elektroniikkalaitteisiin verrattuna pitkiä, noin 10–20 vuotta.

Jakeluverkkoja käytetään pääsääntöisesti säteittäisesti vaikka ne rakennetaankin keskeisiltä osiltaan silmukoiduksi. Silmukoita kuitenkin käytetään avoimena, sillä sen ansiosta häiriöiden rajoittaminen helpottuu, oikosulkuvirrat ovat pienempiä ja jännitteensäätö ja suojaus ovat yksinkertaisempia toteuttaa. Hajautetun sähköntuotannon yleistyminen kuitenkin lisää silmukoidun verkon käyttöä sen jännitteenaleneman ja energiahäviöiden pienentymisen takia sekä käyttövarmuuden takia. [1, s. 11–13.]

3.1 Sähköverkon suunnittelu

Sähköverkon suunnittelussa tärkeimpinä tavoitteina on suunnitella teknisesti toimiva, turvallinen ja kokonaiskustannuksiltaan optimoitu sähköverkko. Teknisellä toimivuudella tarkoitetaan esimerkiksi, että verkon komponenttien tulee olla kestäviä ja pitkäikäisiä, siirron ja jakelun tulee olla luotettavaa, eli etenkin tavanomaisimpien vikojen, kuten johdon oikosulun, ei tulisi vaikuttaa sähkönjakeluun. Turvallisuusvaatimuksina on, että siirto ja jakelu eivät saa aiheuttaa vaaraa ihmisille, eivätkä ne saa muutoinkaan häiritä ympäristöä. Jotta sähkönsiirto ja -jakelu olisi taloudellista, tulee verkon komponenttien olla pitkäikäisiä ja oikein mitoitettuja, jotta ne kestävät verkossa esiintyvät rasitukset. Taloudellinen verkko on suunniteltu niin, että siihen on investoitu vain sen verran kuin on mahdollista ilman, että luotettavuus ja toimivuus kärsivät. Myös häviöt tulee optimoida minimiin. Verkon kustannuksiin lasketaan kuuluvaksi investointi-, häviö-, keskeytys- ja ylläpitokustannukset. Uuden verkon suunnitteluun liittyviä tehtäviä ovat muun muassa pitkän aikavälin kehittämissuunnittelu, verkostosuunnittelu, maastosuunnittelu, rakenne- suunnittelu ja työsuunnittelu. Jo olemassa olevan verkon kehittämiseen tarvitaan kehityssuunnitelma. Karkeasti suunnittelutehtävät voidaan jakaa lyhyen ja pitkän aikavälin suunnitteluun. [1, s. 63–64; 5, s. 73.]

Pitkän aikavälin kehityssuunnittelun tarkoituksena on määrittää, miten suunnittelujakson aikana verkkoa tulisi pääpiirteissään kehittää. Suunnittelussa määritetään tarkasteltavan ajanjakson, joka on noin 5–15 vuotta, tarvittavat suuret investoinnit, jotta verkko täyttää asetetut vaatimukset. Pääpiirteinen suunnitelma on pohja tarkemmalle verkostosuunnittelulle ja se sisältää tärkeää taustatietoa suunnittelua varten. Suunnitelmasta selviää kehityssuunnitteluun ja yksityiskohtaisempaan suunnitteluun tarvittavat lähtötiedot sekä periaatteet. [1, s. 64; 5, s. 73.]

Lyhyen aikavälin suunnittelussa laaditaan noin viiden vuoden tarkastelujaksolle rakennusohjelmat. Näiden perusteella tehdään tarkemmat suunnitelmat johdoista sekä sähköasemien rakenteista ja varusteista. [5, s.73.]

Verkostosuunnittelun tavoite on määrittää investointien kohteet. Verkostosuunnittelussa mitoitetaan verkon komponentit, kuten johtimet ja muuntajat, sekä päätetään rakentamisen toteutusajankohta.

Maastosuunnittelussa määritetään esimerkiksi tarkka johtoreitti ja mahdolliset maastoprofiilit. Suunnitelmaan sisältyy myös maankäyttöön liittyvät sopimukset.

Rakentamissuunnitelmassa mitoitetaan verkon varsinaiset rakenteet, kuten pylvää ja sen osat, ja sijoitetaan rakenteet lopullisille paikoilleen. Rakennesuunnitelmasta löytyy tekniset piirrokset sekä tarvikkeiden tilaukseen ja toimittamiseen tarvittavat tarvikeluettelot.

Työsuunnittelun tavoitteena on aikatauluttaa työn suoritus sekä määrittää toteutukseen tarvittavat resurssit. Kyseisiin resursseihin kuuluvat henkilö- ja työvälinekustannukset. [1, s.63–64.]

Kun jo olemassa olevaa verkkoa halutaan kehittää, tulee tehdä kehittämissuunnittelu. Tämän suunnitelman olennaisia periaatteita ja parametreja ovat:

- jakelujärjestelmän jännitetasot
- verkon rakenteet ja komponentit
- suunnittelun reunaehdot, kuten jännitteenalenema ja vikavirtakestoisuudet
- talouslaskennan perusparametrit eli häviöiden hinnat, korko ja pitoajat

- keskeytyskustannuslaskennan parametrit
- mitoitusasteiden perusteet eli normaalitilanne ja häiriötilanne
- verkon käytettävyyssvaatimukset, jossa otetaan huomioon mitoitusviat
- suunnittelujakson pituus
- kuormitusennusteet.

Näiden parametrien lisäksi tulee huomioida myös verkon ympäristön kehitys. Monesti verkkoa tulee laajentaa uusien asiakkaiden ja lisääntyneen kuormituksen takia. Suunnitelmassa tulee kuormitusennusteiden lisäksi määrittää ja dokumentoida kyseiset parametrit tulevaisuutta varten. [1, s. 68–69, 216.]

3.1.1 Keskijänniteverkon suunnittelu

Jakelujärjestelmän muodostavat keskijänniteverkko, johdot ja sähköasemat. Maaseudulla keskijänniteverkot rakennetaan yleisesti avojohtoina, sillä harvaan asutulla alueella johdot rakennetaan sinne missä on kuormaa. Kaapelointi tällaisilla alueilla ei ole kustannuksiltaan kannattavaa. Kaupungeissa ja taajamissa käytetään maakaapeleita, sillä kuormaa löytyy tasaisesti koko alueelta ja sähkönkäyttäjää on paljon, jolloin kaapelointi on kannattavaa suurten sähkökatkosten ehkäisemiseksi. Kaapelien vikataajuus on noin 10–50 % avojohtojen vikataajuudesta. Tosin vikojen paikallistaminen ja korjaaminen on avojohtoja hankalampaa.

Keskijänniteverkon toiminta vaikuttaa suuresti verkon käyttövarmuuteen, sillä suurin osa sähkönkäyttäjien jakelukeskeytyksistä johtuu keskijänniteverkon vioista. Vaikka verkko on rakennettu silmukoiduksi, käytetään sitä säteittäisenä. Tämä helpottaa verkkotopologian hallintaa ja estää vikojen leviämistä suuremmille alueille. Silmukoiduksi verkko rakennetaan siksi, että esimerkiksi huoltotöissä voidaan katkaista osa verkosta ilman, että sähkönjakelu keskeytyy kokonaan. [1, s. 125–126.]

Keskijänniteverkon kehittäminen on tärkeää verkon taloudellisuuden, käyttövarmuuden ja jännitteen laadun takia. Lakervi ja Partanen [1, s. 126–127] ovat luetelleet keskeisimmät keskijänniteverkon kehittämis- ja ylläpitotoimenpiteet. Näitä ovat muun muassa:

- uuden sähköaseman rakentaminen ja vanhan aseman poisto

- päämuuntajakapasiteetin lisäys
- uuden keskijännitelähdön, varayhteyksien, kauko-ohjattavien erottimien ja maastoon sijoitettujen pylväskatkaisija-asemien rakentaminen
- johtimien ja muuntajien vaihto
- suojaraleen ja olemassa olevan johdon uusiminen
- johdon paikan siirto
- johtorakenteen muuttaminen esimerkiksi avojohdosta kaapeliksi
- sammutuksen, ylijännitesuojien ja eläinsuojien käyttö
- jännitteenkorotusmuuntajan, kompensointikondensaattorien ja varavoimakoneiden käyttö
- käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmien käyttö ja kehittäminen
- verkon kunnossapitotoimenpiteet, kuten tarkastukset, raivaukset ja huollot
- metsänhoidolliset toimenpiteet
- suojaraleasetteluiden muuttaminen
- verkon kytkentätilanteen muuttaminen.

Jotta kehityssuunnitelmia ja ylläpitotoimenpiteitä olisi mielekästä tehdä, tulee verkkotietojärjestelmään olla mahdollista liittää tarvittavia tarkkoja tietoja tehdyistä muutoksista. Esimerkiksi johdon paikkaa muuttaessa voisi olla hyödyllistä pystyä piirtämään uuden johdon paikka vanhan tilalle niin, että vanha johto jäisi vielä himmeästi näkyviin esimerkiksi katkoviivoin, jolloin nähdään selkeästi tehdyt muutokset. Muista muutoksista pitäisi pystyä luomaan sekä komponenttikohtaisesti että yleisesti niin sanotut info-ikkunat, joihin on listattu tiedot tehdyistä töistä.

Elovaara ja Haarla [5, s. 162] ovat listanneet tärkeimpiä toimintoja, joihin verkkotietojärjestelmän tulisi kyetä keskijänniteverkkoa suunniteltaessa:

- verkkotietojen sisäänsyöttäminen ja päivittäminen
- verkon nykyisten kuormitusten sisäänsyöttäminen ja alueittaisten sekä jakelumuuntamokohtaisten kuormitusennusteiden laatiminen
- tehonjaon laskeminen

- oikosulkuvirtojen laskeminen
- maasulkuvirtojen laskeminen
- johtojen vahvistustarpeen määrittäminen dynaamista optimointia soveltamalla sekä verkon kustannusten laskeminen
- verkkomuodon optimoiminen
- luotettavuuslaskenta.

Keski- ja pienjänniteverkoilla (20 kV, 0,4 kV) suunnittelussa hetkellisiin tehoihin kiinnitetään siirtoverkkoja vähemmän huomiota. Tietylle alueelle verkko rakennetaan valmiiksi yhdellä kerralla niin, että se vastaa lopullista kuormitustarvetta. Kantaverkossa kukin johto suunnitellaan ja rakennetaan erikseen.

Jakeluverkon suunnittelu on yleensä kertatehtävä, jossa alueelle suunnitellaan keskijänniteverkko, määritellään jakelumuuntamoiden paikat ja suunnitellaan pienjänniteverkko. Suunnittelu on vaativa optimointitehtävä, johon käytetään pitkälle kehitettyjä ohjelmistoja. Suunnitteluun ja sen tarvitsemiin tietoihin vaikuttaa myös muu yhdyskuntasuunnittelu. Suunnittelun osatehtäviä voivat olla esimerkiksi kulutustietojen arviointi, keskijänniteverkon rakenteen optimointi, muuntamopaikkojen valinta ja pienjänniteverkon rakenteen määrittämien.

Valmiiksi rakennetulle verkolle tehdään noin kerran vuodessa seurantalaskenta, jossa toteutuneiden kulutustietojen ja verkon rakennetietojen perusteella arvioidaan verkon sähkötekniinen kunto ja identifioidaan saneeraustarpeet. Seurattavia asioita ovat esimerkiksi

- verkon häviöt ja jännitteenalenemat johto-osittain
- jännitejännitteet (eli jännitteen muutos tietyllä kuorman lisäyksellä)
- vikavirtojen suuruudet ja niiden aiheuttamien vaara- ja häiriöjännitteiden suuruus
- sulakkeiden riittävyys
- jakelumuuntajien kuormittumiset.

Jotta nämä tiedot saadaan laskettua, tulee verkkotietojärjestelmään olla tallennettuna sähköasemien, kytkentäpaikkojen, keskijänniteverkon, muuntamoiden, muuntajien ja pienjänniteverkon tiedot. Seurantalaskentaa varten järjestelmä muodostaa verkosta laskentamallin ja tarkistaa ettei siinä ole silmukoita tai muita häiriöitä, kuten katkoksia. Mikäli näitä löytyy, ilmoittaa ohjelma ongelmakohdat. [5, s. 77–78, 154.]

3.1.2 Pienjänniteverkon suunnittelu

Pienjänniteverkoissa on paljon yhteistä keskijänniteverkon kanssa. Nämä yhtäläisyydet mahdollistavat samankaltaiset mitoitus- ja suunnitteluperiaatteet. Suurimpina eroina voisi mainita muun muassa suojaustavat. Keskijänniteverkko on yleisesti maasta erotettu tai sammutettu, kun taas pienjänniteverkko on maadoitettu ja suojattu sulakkein. Lisäksi pienjänniteverkon suojausvaatimukset ovat keskijänniteverkkoa tiukemmat, sillä pienjänniteverkko on etäisyydeltään lähellä sähkökäyttäjää. Useimmiten pienjänniteverkko on rakennettu säteittäiseksi, jossa kantajohdosta lähtee johtohaaroja kuluttajille. Tiheästi asutetussa taajamassa myös kantajohtojen liittäminen yhteen yhdysjohtojen avulla voi tulla kyseeseen. Yleisemmin käytetään kuitenkin tarpeeksi siirtokykyisiä pienjänniteyhteyksiä muuntamoiden välillä, jotta muuntamovian aikana voidaan käyttää naapurimuuntopiiriä viallisen muuntamon jakelualueen sähköjakeluun. [1, s. 158–159; 5, s.157–159.]

Pienjänniteverkon suunnittelussa keskitytään yleisimmin yksittäisen käyttäjän verkkoon liittymiseen, uudisrakentamisalueen sähköistämiseen sekä jo olemassa olevan verkon kunnostukseen. Pienjänniteverkon mitoitus toteutetaan pääsääntöisesti samalla tavalla kuin keskijänniteverkossa. Tärkeimpiä vaatimuksia pienjännitejohdoille ovat kuormitettavuus, jännitteenalenema, oikosulkukestoisuus sekä automaattisella poiskytkennällä toteutettu suojaus. Yleisesti pienjänniteverkko suunnitellaan samanaikaisesti keskijänniteverkon kanssa. [1, s. 163–164.]

Toisin kuin keskijänniteverkko, pienjänniteverkko rakennetaan yleensä kerralla valmiiksi. Koska verkko suunnitellaan kerralla ja kuormitusmuutoksia ei yleisesti ole odotettavissa, mitoitetaan pienjänniteverkko lopputilanteen kuormitusten ja reunaehtojen mukaan. Pienjänniteverkoissa on usein monia johtolähtöjä ja muuntopiirejä ja täten myös useita syöttöpiste- ja johtoreittivaihtoehtoja, jolloin suunnittelussa tarvitaan sähköteknisen mitoittamisen lisäksi myös maankäytöllistä suunnittelua. Tämän takia verkkotietojärjestel-

mältä vaaditaan mahdollisuutta optimoida verkkomuotoja ja vertailla eri muotovaihtoehtoja esimerkiksi heuristisesti eli kokeilevasti asteittain etenevällä optimointimenetelmällä. [5, s. 159.]

3.2 Verkon nykytila

Verkon kehitystarpeiden suunnitteluun kuuluu olennaisesti myös verkon nykytilan määrittäminen. Tähän käytetään sekä aikaisempien suunnitelmien aikana luotuja dokumentteja että verkon laskenta- ja mittaustuloksia. Laskenta- ja mittaustulokset helpottavat verkon mahdollisten ongelmapaikkojen selvitystä, kuten johtojen alueittaisia vikataajuuksia. Näiden tulosten avulla on myös helppo analysoida verkon toimintaa ja sen suorituskykyä sekä suunnitella tulevia investointeja.

Koska verkon suunnittelu on enimmäkseen jo olemassa olevan verkon kehittämistä, tarvitaan suunnittelun avuksi verkkotietojärjestelmä, josta löytyy tärkeimmät verkon nykytilaa kuvaavat suureet ja niihin liittyvät laskentaominaisuudet. [1, s. 217.]

Jännitteenalenema vaikuttaa jakelumuuntajan ensiöjännitetason lisäksi myös sähkön laatuun. Laskentatuloksista selviää solmupisteiden jännitteet sekä johtojen jännitteenalenemat tilanteessa, jossa verkko ottaa syöttöpisteestä suurimman kokonaistehon. Näin voidaan tutkia, mitkä johto-osat aiheuttavat jännitteen aleneman. Jännitteenaleneman laskennasta on kerrottu enemmän luvussa 4.

Jännitejousto kertoo solmupisteen jännitteenaleneman prosentuaalisen kasvun, kun teho kasvaa tietyn verran. Jännitejouston avulla voidaan arvioida uusien sähkönkäyttäjien sekä ominaiskulutuksen kasvun vaikutuksia jännitetasoon.

Teho- ja energiahäviöt esiintyvät erityisesti suuripoikkipintaisissa johtimissa. Havaitsemalla häviöitä, voidaan pohtia olisiko johtimen vaihto vahvempaan tarpeellista ottaen huomioon taloudelliset seikat, kuten vertailemalla häviöiden pienentymisestä saavutettavia säästöjä ja vaihtokustannuksien summaa.

Oikosulkuvirtoja verrataan johtimien ilmoitettuihin oikosulkukestoisuuksiin. Usein oikosulkuvirtoihin liittyvät ongelmat sijoittuvat uusien syöttöpisteiden läheisyyteen. Oikosulkuvirtakestoisuudet tulisi tarkistaa aina, kun verkkoon on tehty muutoksia.

Maasulkuvirta on tärkeä tietää, kun määritetään releasetteluita tai maadoitusresistanssien ohjearvoja. Maasulun ja oikosulun laskentaa on esitetty luvussa 4.

Johtojen kuormitustilasta voidaan paikallistaa kaapelivaurioiden riskit vertaamalla kuormitusta sallittuihin kuormitusvirtojen arvoihin. Lisäksi kuormituksesta voidaan havaita mahdolliset yli- tai alimitoitukset.

Myös rakenteiden kuntoa koskevat tiedot ovat tärkeitä verkon nykytilan tarkastelussa. Mikäli rakenne on heikko, voidaan se myöhemmin joutua uusimaan yhden komponentin sijasta kokonaan.

Keskeytyskustannukset ja käyttövarmuusindeksit saadaan jatkuvan tilastoinnin ja luotettavuuslaskennan tuloksena. Jos alueella esiintyy keskimääräistä suurempia kustannuksia, on tarpeen pohtia, miten käyttövarmuutta alueella voisi parantaa. [1, s. 217–218; 5, s.156–157.]

3.3 Verkon kunnossapito

Verkon kunnossapito jaetaan karkeasti ehkäisevään ja korjaavaan kunnossapitoon. Korjaavaan kunnossapitoon voidaan laskea kuuluvaksi erilaiset materiaali- ja henkilöstöressurit sekä varsinainen huoltotoiminta. Verkkotietojärjestelmän kannalta oleellisempaa on ehkäisevä kunnossapito. Siihen sisältyy muun muassa verkostokomponenttien kuntotilan tarkastukset, johtokatuja raivaukset, muuntamoiden puhdistukset sekä verkostokomponenttien määräaikaishuollot ja parannukset. Komponenttien kuntotiedot tulisi voida kirjata verkkotietojärjestelmään, jotta tiedot kunnossapitotoimista olisivat helposti löydettävissä ja käytettävissä suunniteltaessa tarvittavia verkon korjauksia. [1, s. 228–230.]

4 Verkkotietojärjestelmän laskennalliset ominaisuudet

Yksi tärkeimmistä verkkotietojärjestelmän ominaisuuksista on sen laskennalliset toiminnot. Verkolle ja sen komponenteille on asetettu erilaisia vaatimuksia, jotta verkko täyttäisi turvallisuusmääräykset sekä sähkön laadulliset määräykset. Muun muassa pienjänniteverkoille asetettuja vaatimuksia löytyy SFS standardista 6000-8-801.

4.1 Jännitteenalenema

Verkostolaskelmissa tutkitaan yleensä johdon jännitteenalenemaa sekä johdon loppupään jännitteen itseisarvoa, kun verkkoa kuormitetaan maksimikuormituksella. Verkon jännitteenalenemien summa koostuu keskijännitejohdon, jakelumuuntajan ja pienjännitejohdon jännitteenalenemista. [1, s. 38.] Jännitteenalenema lasketaan kaavalla

$$U_h = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi, \quad (1)$$

jossa

U_h on jännitteen alenema

I on kuormitusvirta

R on johdon resistanssi

X on johdon reaktanssi

φ on vaiheensiirtokulma. [5, s. 155.]

Edellä esitettyä yhtälöä käytettäessä on syytä muistaa, että sen tulos saadaan vaihejännitesuureena. Toisin sanoen, jos lasketaan prosentuaalisia jännitteenalenemia, on vertailujännitteenä käytettävä myös vaihejännitettä. Kaavan 1 mukainen likimääräisyhtälö kertoo jännitteiden itseisarvojen erotuksen, joka on riittävä jakeluverkkolaskelmissa. Siirtojohtojen tehonsiirrossa on jännitteiden itseisarvojen erotuksen lisäksi tärkeää myös jännitteiden välinen kulma, joten siirtoverkkolaskelmat on tehtävä osoitinlaskentana. [6.]

Alenema vaikuttaa jakelumuuntajien ensiöjännitteen tasoon. Seurantalaskennan tuloksista selviää solmupisteiden jännitteet ja kunkin johto-osan jännitteenalenema, kun laskettavana olevan verkon osan syöttöpisteestä ottama summateho on suurimmillaan. Laskennan avulla saadaan selville, mitkä johto-osat pääasiallisesti aiheuttavat jännitteen alenemisen. [5, s. 256.] Jännitteenaleneman prosentuaalinen arvo lasketaan kaavalla

$$U_h \% = \frac{U_h}{U_v} \cdot 100\%, \quad (2)$$

jossa

U_h on jännitteen alenema

U_v on vaihejännite [7, s. 25].

Verkkotietojärjestelmään voisi olla hyvä lisätä ominaisuus, joka ilmoittaa kun standardin mukaiset jännitteenaleneman raja-arvot ylittyvät.

4.2 Tehon jako

Teho on hetkellinen suure ja se vaihtelee sekä säännöllisesti että satunnaisesti. Yleisesti varsinaisia tehoja ei ole tilastoitu kattavasti ja kuormitusennusteissa onkin käytetty vuosien energioita. Nykyisten energiamittareiden ja kaksisuuntaisen tiedonsiirron avulla kuluusta on helpompi seurata ja tilastoida. Verkostolaskelmissa hetkellisiä tehoja tärkeämpi suure on maksimiteho, joka määrää komponenttien mitoituksen. Tosin myös minimi- ja keskitehot ovat tärkeitä tietoja. Kyseisten tehojen avulla verkkoyhtiöt määrittävät tariffejaan sekä sähköenergian riittävyttä kokonaiskuorman kattamiseen.

Sähkönkulutuksen suuruuteen vaikuttavat tarkastelupaikan lisäksi oleellisesti myös käyttäjien kuluttajaluokka, vuodenajat sekä yksittäiset päivät, ilmastotekijät, kuormien välinen riippuvuussuhde sekä tarkasteltava aikajänne. Eri kuluttajaluokilla on omat tyypilliset ajalliset kulutusvaihtelunsa. Esimerkiksi asuinalueilla arkipäivisin kulutus on vähäisempää kuin viikonloppuisin, kun taas ympärivuorokautisesti toimiva tehdas kuluttaa sähköä tyypillisesti tasaisesti ajankohdasta riippumatta. [5, s. 78–79.]

Vuosien energiat on mahdollista muuttaa tehoiksi erilaisilla menetelmillä. Näille menetelmille on ominaista tilastomatemattinen perusta sekä mittauksin saadut kokemukset kuormitusten käyttäytymisestä. Myös reaaliaikaisia kulutusmittauksia on mahdollista käyttää. Sähkönkulutusta mittaavia AMR-mittareita on jo laajalti käytössä ja niistä on mahdollista mitata luotettavaa kuormituskäyrätietoa jopa tuntitasolla. Tulee kuitenkin muistaa, että tuntikeskiteho on keskimääräinen arvo, joten se voi vääristää tuloksia, sillä kuormitushuipputehot ovat vakiotehoisia kuormituksia lukuun ottamatta suurempia kuin tuntihiipputehot. Mikäli tarkkaa kuormitustietoa ei ole saatavilla, voidaan huipputehojen arviointiin käyttää Velanderin kaavaa (3), jossa tulokset saadaan likimain oikein. Nykyään on yleisempää käyttää Velanderin kaavan sijasta tarkempia tuloksia antavia kuor-

mitusmalleihin perustuvia menetelmiä. Kuormitusmallien muodostamista varten tarvitaan käyttäjäryhmittelyä, jossa profiloidaan eri käyttäjätyyppejä ja näiden sähkönkulu- tusta. [1, s. 52–54.]

$$P_{max} = k_1 \cdot W + k_2 \cdot \sqrt{W} \quad (3)$$

P_{max} on huipputeho kilowatteina

k_1 ja k_2 ovat Velerin kertoimet eri asiakasryhmille, jotka on ennalta määriteltä

W on vuosienergia megawattitunteina.

Kuormituksen ennustaminen helpottuu, mitä enemmän aikaisempaa kuormitustietoa ja -käyriä tarkasteltavasta asiakasryhmästä on käytettävissä [5, s. 79].

Kuormituksien suuruus ja ajallinen vaihtelu saadaan usein suoraan verkkotietojärjestelmästä, joka laskee muuntopiirin asiakkaiden yhteenlasketun huipputehon kuormitusmallien avulla [8, s. 54]. Kuormitusvirrat keskuksien huipputehoista voidaan laskea kaavalla

$$I_v = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \quad (4)$$

jossa

I_v on kuormitusvirta

P_{max} on keskuksen huipputeho

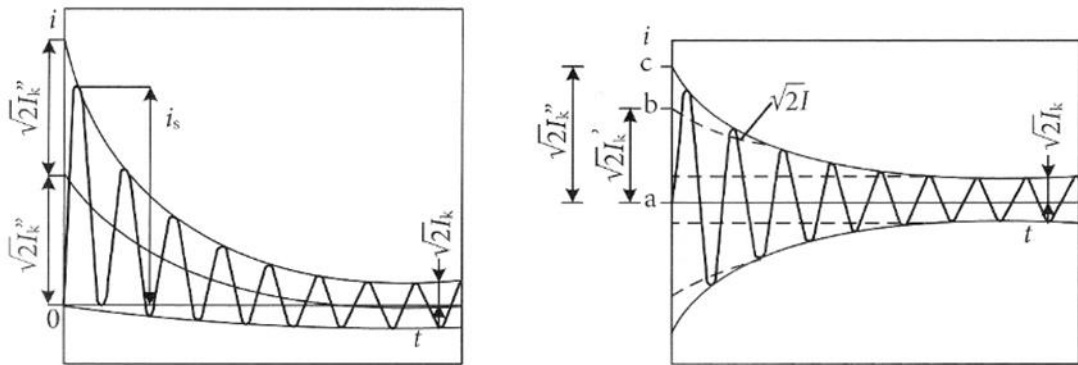
U on pääjännite

φ on vaiheensiirtokulma.

Johtojen kuormituksia voidaan verrata sallittuihin kuormituksiin ja tämän tiedon avulla voidaan estää mahdolliset vauriot. Näistä tuloksista voidaan paikallistaa myös ylimeritukset ja oppia ylimeritukseen johtaneista mahdollisista suunnitteluvirheistä. [1, s. 218.]

4.3 Oiko- ja maasulku

Yleisemmät verkon viat ovat oiko- ja maasulut. Oikosulku tarkoittaa vikaa, jossa vika ilmenee kahden vaiheen välillä. Maasulussa eli yksivaiheisessa oikosulussa vika on nimensä mukaisesti yhteydessä maahan. Oikosulkuvikojen syntymissyitä voivat olla ylijännitteet, laitteiden toimintahäiriöt ja verkon komponentin eristyskyvyn heikkeneminen. Maasulkuja aiheuttavat tavallisimmin salamat ja puiden kaatumiset johdon päälle. Kolmivaihejärjestelmässä suurimman vikavirran aiheuttaja on kolmivaiheinen oikosulku. Sen suuruuden vuoksi (noin 10–40-kertainen virta nimelliseen kuormitusvirtaan verrattuna) on tärkeää, että suojausautomaatio on mitoitettu niin, että se katkaisee oikosulun tarpeeksi nopeasti. Oikosulkuvirta superponoituu eli summautuu kuormitusvirtaan ja onkin siis kertaluokkaa suurempi kuin kuormitusvirta. Tämän takia oikosulkulaskelmissa oletetaan, että verkko on tyhjäkäynnissä. Kuvassa 5 on esitetty oikosulkuvirran vaimeneminen epäsymmetrisessä ja symmetrisessä oikosulussa. [5, s. 170.]



Kuva 5. Oikosulkuvirta epäsymmetrisessä ja symmetrisessä oikosulussa [5, s. 171].

Oikosulkuvirtojen suuruusluokka voidaan laskea Theveninin teoreeman avulla (kaava 5), jossa oleelliset tiedot ovat vikapaikan jännite ja siitä näkyvä verkon impedanssi. Jotta Theveninin teoreemaa voidaan käyttää, on verkosta tehtävä yksivaiheinen sijaiskytkentä.

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}_v}{\underline{Z}_f + \underline{Z}_i} \quad (5)$$

Standardissa IEC 60909 suositellaan jännitteenä käytettävän arvoa $1,1 \cdot U_v$, sillä virtapiirin impedanssien arvioinnit ovat aina jonkin verran epätarkkoja. Impedanssit tulee

reduoida samaan jänniteportaaseen. Säteittäisverkoissa yhtälön 5 impedanssit muodostuvat syöttävän verkon ja vian impedanssien summasta. Silmukkaverkon oikosulkuvirran suuruutta laskettaessa käsitellään verkkoa säteittäisenä ja saatuun virtaan lisätään läheisen moottorin tai generaattorin vikavirran suuruus.

Yleensä oikosulkuvirrasta kiinnostaa vain sen suuruus eikä virran vaihekulmaa tarvita. Tällöin keskijänniteverkon kolmivaiheisen oikosulkuvirran laskennassa, kaukana generaattoreista ja suurista moottorikuormista, käytetään kaavaa

$$I_{k3} = \frac{U_v}{\sqrt{(R_{110}+R_m+R_j)^2+(X_{110}+X_m+X_j)^2}}, \quad (6)$$

jossa

R_{110} ja X_{110} ovat 110 kV:n verkon oikosulkuresistanssi ja -reaktanssi 20 kV:n tasolla

R_m ja X_m ovat 110/20 kV:n päämuuntajan oikosulkuresistanssi ja -reaktanssi 20 kV:n tasolla

R_j ja X_j ovat sähköaseman ja vikapaikan välisten 20 kV:n johtojen resistanssi ja reaktanssi.

Keskijänniteverkon kaksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan laskettua kertomalla yhtälöstä 6 saatu kolmivaiheinen oikosulkuvirta luvulla $\frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0,866$ [9, s. 14].

Oikosulkuvirran arvoa käytetään verkon johdinten oikosulkukestoisuuden ja oikosulkusuojauksen asetteluarvojen määrittämiseen sekä oikosulun esiintymispaikan löytämiseen. Oikosulkukestoisuutta varten tarvitaan tiedot johdinlajista, oikosulun ekvivalenttisesti kestoajasta sekä johto-osuuden alkupäässä esiintyvistä suurimmista mahdollisista oikosulkuvirrasta. [1, s. 28–30.]

Oikosulkuvirtojen suuruutta tulisi voida verrata ohjelmien sisäisenä toimintana johtimien oikosulkukestoisuuksiin. Näin saadaan selville vahvistustarpeessa olevat johto-osat, joita esiintyy useimmiten uusien syöttöpisteiden lähellä. Jotta vahvistus kohdistuu tarpeeksi laajalle alueelle, myös johtojen vahvistuksen jälkeisen tilanteen oikosulkuvirtakestoisuudet tulee tarkistaa. Jotta releet voidaan asettaa oikein, on tarpeellista tuntea kunkin katkaisijan kautta kulkeva pienin oikosulkuvirta ja suurin kuormitusvirta. [5, s. 156–157.]

Pienjänniteverkkojen suojauksessa sähkönsyötön nopea poiskytkentä tapahtuu pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran vaikutuksesta määrättyssä ajassa. Standardissa SFS 6000 poiskytkentäajaksi on määrätty enintään 5 sekuntia ja ryhmäjohtotasolla poiskytkentäaika tulee olla pääosin enintään 0,4 sekuntia. Vikavirran tulee olla riittävän suuri sulakkeen nopeaan palamiseen. Yksivaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa lasketaan kaavalla

$$I_{k1} = \frac{0,95 \cdot 3 U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3L(R_v + R_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + L(2X_v + X_{v0} + 3X_0))^2}}, \quad (7)$$

jossa

U_v on verkon vaihejännite

0,95 on IEC 60909-standardissa määritetty jännitekerroin

R_m on muuntajan oikosulkuresistanssi

X_m on muuntajan oikosulkureaktanssi

R_{m0} on muuntajan nolaresistanssi

X_{m0} on muuntajan nolareaktanssi

R_v on vaihejohtimen resistanssi

X_v on vaihejohtimen myötäreaktanssi

X_{v0} on vaihejohtimen nolareaktanssi

R_0 on nolajohtimen resistanssi

X_0 on nolajohtimen reaktanssi

L on johdon pituus. [10, s. 20–25.]

Alkuoikosulkuvirta I_k'' on oikosulkuvirran vaihtovirtakomponentin tehollisarvo. Arvoa ei sellaisenaan käytetä verkon mitoittamiseen, vaan sillä voidaan määrittää muita oikosulkuvirran arvoja. Alkuoikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} Z_k}, \quad (8)$$

jossa

c on jännitekerroin, arvo on 1,1

U_n on laskettavan kohteen jännite

Z_k on impedanssi mitattavasta kohteesta katsottuna.

Sysäysoikosulkuvirta I_p on oikosulkuvirran suurin hetkellinen virta-arvo, joka tapahtuu ensimmäisellä jakson ajalla. Kansainvälisessä standardissa IEC 60909 on esitetty kaava 9, jolla sysäysoikosulkuvirran suuruus voidaan laskea. Sysäysoikosulkuvirran avulla määritetään laitteiden mitoitus mekaanisia rasituksia vastaan.

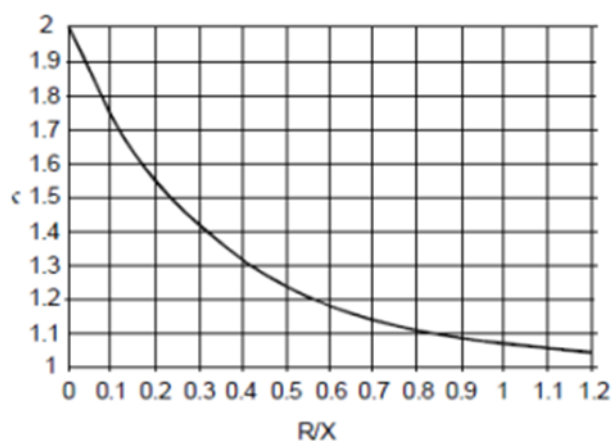
$$I_p = K \sqrt{2I_k''} \quad (9)$$

K on sysäyskerroin, arvo noin 1,8

I_k'' on oikosulkuvirran vaihtovirtakomponentin tehollisarvo oikosulun syntyhetkellä.

Sysäyskerroimen K arvo voidaan katsoa joko kuvasta 6 tai se voidaan laskea kaavalla 10.

$$K = 1,02 + 0,98e^{-3\frac{R}{X}} \quad (10)$$



Kuva 6. Sysäyskerroimen K riippuvuus R/X suhteesta [11, s. 12].

Oikosulkua käsittelevissä kirjoissa on esitetty myös kaava 11, jota voidaan käyttää likimääräisen arvon arvioimiseen, mikäli R/X suhdetta ei tunneta.

$$I_s = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 2,5 \cdot I_k'' \quad (11)$$

I_k'' on oikosulkuvirran vaihtovirtakomponentin tehollisarvo oikosulun syntyhetkellä

1,8 on sysäyskertoimenä yleisesti käytetty arvo.

Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta I_{th} tai I_{1s} kertoo kuinka paljon virtaa sähköverkon komponentit kestävät yhden sekunnin ajan vaurioitumatta. Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta lasketaan kaavalla 12.

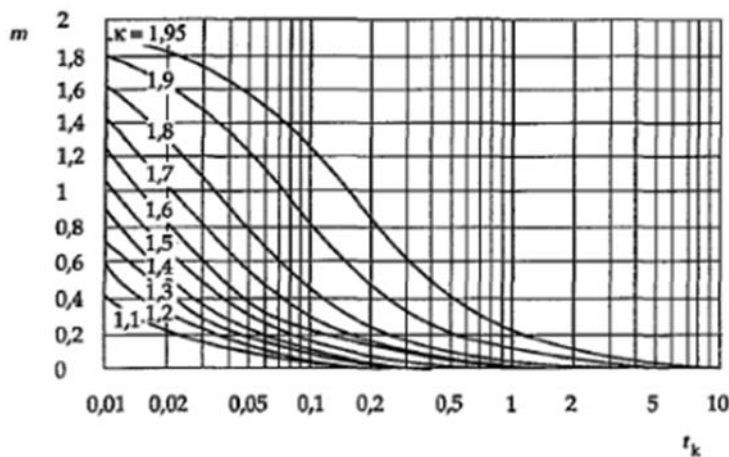
$$I_{th} = I_k'' \sqrt{(m + n) \cdot t_k} \quad (12)$$

I_k'' on oikosulkuvirran vaihtovirtakomponentin tehollisarvo oikosulun syntyhetkellä

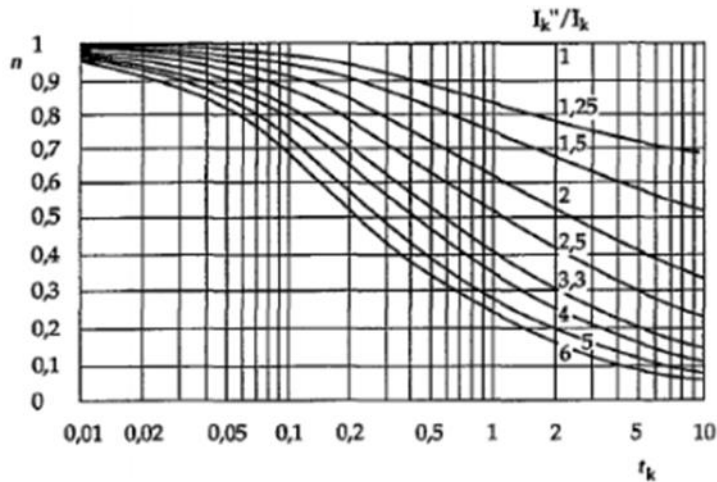
m on vaimenevan tasavirtakomponentin kerroin

n on vaimenevan vaihtovirtakomponentin kerroin.

Vaimenevan tasa- ja vaihtovirtakomponenttien kertoimet voidaan katsoa kuvista 7 ja 8. [11, s. 11–14.]



Kuva 7. Tasavirtatekijän m riippuvuus oikosulkuvirran sysäyskertoimesta ja oikosulun kestoajasta [11, s. 14].



Kuva 8. Vaihtovirtatekijän n riippuvuus oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon suhteesta oikosulun kestoajasta [11, s. 14].

Maasulkuvirtoja laskettaessa järjestelmän tulisi voida käsitellä sekä maasta erotettuja että sammutettuja verkkoja. Maasta erotellulla verkolla tarkoitetaan verkkoa, jossa yhtäkään tähtipistettä ei ole yhdistetty maahan joko suoraan tai impedanssin välityksellä. Kun tähtipisteen ja maan väliin on kytketty vastus tai kuristin, joka on mitoitettu niin, että joh-tojen maakapasitanssien kautta kulkeva maasulkuvirta kumoutuu, on kyseessä sammutettu verkko. Näin tehdyn suojauksen tarkoitus on, että maasulkuvirran kumoutuessa maasulku sammuu itsestään. Maasulun itsestään sammumisen ja vikapaikan paikannuksen kannalta maasulun kestoajan tulisi olla mahdollisimman pitkä. [5, s. 210.]

Maasulkuvirran suuruuden tunteminen on tarpeellista releasettelujen ja maadoitusresistanssien ohjearvojen määrittämiseksi [5, s. 157]. Maasulun suojauksen toimivuuden kannalta tärkeimmät suureet ovat pienimmät esiintyvät nollavirrat sekä tähtipistejännitteet, joissa vikaresistanssi on suuri [12].

Maasta erotetussa verkossa maasulkuvirta jää usein pieneksi. Tästä huolimatta maasulun aiheuttaman kohonneen vaihejännitteen takia riskinä on komponentin hajoaminen erityisesti jos komponentin eristys on huonokuntoinen. Maasta erotetun verkon maasulkuvirta tilanteessa, jossa vikaresistanssi pienentää maasulkuvirtaa, lasketaan kaavalla 13 ja nollajännite kaavalla 14. [5, s. 210.]

$$I_{mf} = \frac{3\omega C_0}{\sqrt{1+(3\omega C_0 R_f)^2}} U_v \quad (13)$$

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{1+(3\omega C_0 R_f)^2}} U_v \quad (14)$$

ω on kulmataajuus ($2 \cdot \pi \cdot f$)

C_0 on maakapasitanssi

U_v on vaihejännite

R_f on vikaresistanssi [12.]

Sammutetussa verkossa tavoitteena on kompensoida kapasitiivinen maasulkuvirta verkon tähtipisteeseen kytketyn kuristimen avulla. Sammutetussa verkossa vikapaikan virta lasketaan kaavalla 15 ja nollajännite kaavalla 16. [5, s. 210.]

$$I_{mf} = \frac{\sqrt{1+R_0^2(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L})^2}}{\sqrt{(R_f+R_0)^2 + R_f^2 R_0^2 (3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L})^2}} U_v \quad (15)$$

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{(\frac{1}{R_0})^2 + (3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L})^2}} I_{mf} \quad (16)$$

R_0 on verkon häviöresistanssi

ω on kulmataajuus ($2 \cdot \pi \cdot f$)

C_0 on maakapasitanssi

ωL on sammutuskuristimen reaktanssi

R_f vikaresistanssi

U_v on verkon vaihejännite

Maadoitusjännitevaatimusten kannalta tärkeitä tietoja ovat suurin maasulkuvirta sekä maasulun kesto aika. Kesto aikoja tutkiessa tulee huomata, että aikoja ei summata yhteen jälleenkytkentä tilanteissa. [12.]

4.4 Sähköverkon luotettavuus

Yksi sähköverkon kriittisistä vaatimuksista on sen luotettavuus, joka voidaan jakaa jakelukapasiteetin riittävyyteen ja jakelun käyttövarmuuteen. Luotettavuudella tarkoitetaan järjestelmän käyttäytymistä erilaisissa kuormitus-, vika- ja keskeytystilanteissa. Riittävyydellä tarkoitetaan järjestelmän kykyä syöttämään tarvittavaa tehoa ja energiaa myös muun muassa keskeytysten aikana. Käyttövarmuus on ajan mukana muuttuva ominaisuus, joka kuvastaa verkon kestävyyttä häiriötilanteissa, kuten oikosuluissa tai komponenttien irtoamisessa verkosta. Käyttövarma sähköverkko toimii stabiilisti sekä käyttötilanteessa että häiriötilanteessa ja täyttää täten myös sähkön laatuun liittyvät vaatimukset. Riittävyyttä voidaan kuvata erilaisilla indekseillä. Näitä voivat olla esimerkiksi vikojen esiintymistaaajuus ja vikatilanteiden keskimääräinen kesto aika. [5, s. 276–277.]

Pääsääntöisesti asiakkaiden sähkönjakelukeskeytykset johtuvat keskijänniteverkossa tapahtuvista katkoista. Käyttövarmuutta kuvaavia tunnuslukuja ovat muun muassa keskeytystaaajuus, vuotuinen keskeytysaika, keskeytyksen keskipituus, toimittamatta jääneen energian määrä sekä keskeytyskustannukset. Nämä tunnusluvut voidaan laskea kaavoilla 17 - 21.

$$f_j = \sum_{i \in I} f_i, \quad (17)$$

$$U_j = \sum_{i \in I} f_i \cdot t_{ij} \quad (18)$$

$$t_j = \frac{U_j}{f_j} \quad (19)$$

$$E_j = f_j \cdot t_j \cdot \Delta P_j \quad (20)$$

$$K_j = \sum_{i \in I} f_i [a_j + b_j(t_{ij})t_{ij}] \Delta P_j \quad (21)$$

f on vikataajuus

t on vian aiheuttama keskeytysaika

ΔP on keskimääräinen keskeytysteho

a on keskeytystehon haitta-arvo

b on keskeytysenergian haitta-arvo.

Alaindeksillä j tarkoitetaan sähkönkäyttäjää ja alaindeksillä i verkkokomponenttia. [1, s. 45–46.]

Verkon toimitusvarmuutta voidaan kuvata keskeytyskustannusten lisäksi SAIFI:llä, CAIDI:llä, SAIDI:llä ja MAIFI:llä. Nämä tunnusluvut on määritelty kansainvälisessä IEEE 1366-standardissa. SAIFI:llä (System Average Interruption Frequency Index) kuvataan pitkien keskeytysten keskimääräistä määrää asiakasta kohden vuodessa. Se lasketaan jakamalla kaikkien asiakkaiden kaikkien keskeytysten lukumäärä valittuna aikana kaikkien asiakkaiden lukumäärällä. CAIDI:llä (Customer Average Interruption Duration Index) tarkoitetaan vikojen keskimääräistä kestoa asiakasta ja vikaa kohden. CAIDI lasketaan siten, että kaikkien tiettynä aikana tapahtuneiden keskeytysten pituus jaetaan kyseisten keskeytysten lukumäärällä. SAIDI (System Average Interruption Duration Index) tarkoittaa vikojen kokonaiskestoaikaa asiakasta kohden ja se lasketaan jakamalla kaikkien asiakkaiden kaikkien keskeytysten kestoajojen summa tiettynä aikana kaikkien asiakkaiden lukumäärällä. MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) kuvaa jälleenkytkentöjen keskimääräistä määrää asiakasta kohden ja se ottaa SAIDI:stä poiketen huomioon myös lyhyet keskeytykset. MAIFI lasketaan samalla tavalla kuin SAIFI mutta keskeytysten lukumäärään otetaan mukaan myös lyhyet keskeytykset. Näiden indeksien avulla on mahdollista paikantaa alueet, joissa verkkoa kannattaa parantaa. [1, s. 45; 5, s. 422–424.]

Luotettavuusanalyysin tavoitteena on selvittää, mitkä viat ja laiteviat muodostavat suurimman riskin suureen häiriötilanteeseen. Analysointi voi paljastaa verkon vikaherkimmät kohdat ja mitkä komponentit ovat todennäköisimmin suurhäiriön syynä. Yksi hyvä tapa analysoida verkon luotettavuutta on simuloida verkon toimintaa erilaisissa häiriötilanteissa. Tämä ominaisuus olisikin siis tärkeä verkkotietojärjestelmässä. [5, s. 294.]

Luotettavuusanalyysia tehtäessä tulee tuntea vika-, häiriö- ja kunnossapitotietojen oikea tulkinta. Analyysissa tärkeitä huomioon otettavia seikkoja ovat komponenttien ominaisustiedot, kuten vuosimallit, toimintaperiaatteet ja kunnossapitomenetelmät. Tällöin korostuu myös verkkotietojärjestelmän vaatimus eri komponenttitietojen ajantasaisesta päivitettävyydestä. [5, s. 289.]

5 Verkkotietojärjestelmän graafiset ominaisuudet

Käytettävyyden kannalta järjestelmän visuaalisuus on tärkeä tekijä. Selkeä ulkonäkö ja visuaaliset ominaisuudet helpottavat järjestelmän käyttöä ja havainnollistavat joskus sekavankin näköistä jakeluverkostoa.

Työtä varten tehtyjen verkkoyhtiöiden haastatteluiden perusteella verkkotietojärjestelmään kannattaisi lisätä verkon komponenteista symbolikirjasto, jossa olisi myös mahdollisuus symboleiden muokattavuuteen. Symbolit helpottavat verkkokartan tulkintaa ja suositeltavaa olisi tehdä symbolit IEC standardin mukaan, jotta ne olisivat yksiselitteisiä ja sopisivat täten monen yhtiön käyttöön. Muokattavuuden ansiosta yhtiöt voisivat itse määrittää ja yksilöidä yhtiön tarvitsemat symbolit.

Verkkotietojärjestelmän tavoitteena on luoda havainnollinen käyttöliittymä suunnittelun, rakentamisen, käytön ja kunnossapidon suunnittelu- ja dokumentointisovelluksille. Järjestelmällä tulee voida tuottaa myös erilaisia karttoja ja kaavioita ja sen tulee toimia lähtökohtana verkostolaskennan verkkomalleille. Jakeluverkosta täytyy pystyä tekemään verkkokartta tarvittavine liitteineen. Lisäksi täytyy tehdä verkostotiedosto, joista selviävät verkon käytössä ja hoidossa tarvittavat tiedot. [1, s. 265–266.] SFS 6000-8-801-standardissa on lueteltu pienjänniteverkoille muutamia näistä tiedoista:

- syöttävän muuntajan tai generaattorin mitoitusarvot, sisäinen kytkentä ja oikosulkuimpedanssi (mukaan lukien liittyjien omistamat, jakeluverkon kanssa rinnan käyvät generaattorit ks. SFS 6000-5-55 kohta 551.7)
- verkon eri osien johtojen pituus, johtimien poikkipinta ja laji mukaan luetuna liittymisjohdot niiden haltijasta riippumatta
- laskettu tai mittaamalla määritetty yksivaiheinen oikosulkuvirta liittymiskohdissa ja välivarokkeiden luona verkon normaalissa käyttötilanteessa. Tarvittaessa määritellään myös laitteiston mitoituksessa käytettävä suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta
- verkon eri osia suojaavien sulakkeiden (liittymän pääsulakkeet mukaan luettuna) tai muiden ylivirtasuojien ja suojalaitteiden laatu sekä käytössä oleva mitoitusvirta tai asetteluvirta
- PEN- tai suojamaadoitusjohtimen maadoituspaikat.

Lisäksi verkkokartasta tai verkkotiedostosta tulee löytyä tiedot syöttävän muuntamon suurjännite- ja pienjännitepuolen maadoitusimpedanssista tai yhdistetyn maadoituksen

maadoitusimpedanssista Myös tieto maadoituksen yhdistämisestä osaksi useita muuntamoita käsittävää laajaa maadoitusjärjestelmää olisi hyvä löytyä.

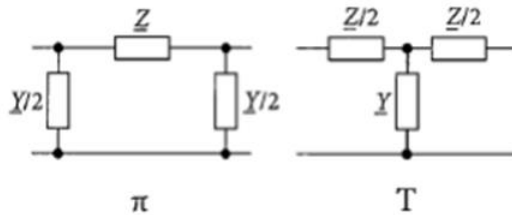
Yleensä nämä asiat kannattaa esittää osittain verkkokartassa ja osittain tiedostoissa. Verkkokartassa hyödyllisintä on esittää ne asiat, joita tarvitaan normaaleissa kunnossapito- ja korjaustoiminnassa. Näitä tietoja voivat olla verkon rakenteen lisäksi esimerkiksi keskusten pääkaaviot, suojalaitteiden kytkennät ja koot, maadoituspaikkojen sijainnit sekä johtimien lajit ja poikkipinnat. [13, s. 8.]

Kun verkkokarttaan tehdään muutoksia, voidaan toimenpiteet erottaa toisistaan selvästi piirtämällä nykyinen, uusi ja purettava verkko omilla väreillään.

Yleisimpiä komponentteja sähköverkossa ovat johdot, muuntajat ja kuormat. Nykyään myös mikrotuotannon, kuten kuluttajien omien pienten tuulivoimaloiden, yleistyessä ja verkon liikennöinnin kaksisuuntaistuesssa myös generaattorit ovat yhä yleisempi osa jakeluverkkoa. Laajoja verkkoja mallinnettaessa kannattaa verkko yleensä yksinkertaistaa yksivaiheiseksi sijaiskytkennäksi, sillä kaikki kolme vaihetta ovat keskenään symmetrisiä ja yhdellä vaiheella kuvattua verkkoa on helpompi käsitellä. Reaktorit ja kondensaattorit kuvautuvat verkossa usein pelkkänä induktiivisena tai kapasitiivisena reaktanssina. [5, s. 97.]

5.1 Johdot ja kaapelit

Johtojen resistanssit, induktanssit, konduktanssit ja kapasitanssit ovat jakautuneet tasaisesti koko johtopituudelle. Erityisesti pienjänniteverkoissa konduktanssia ja kapasitanssia ei yleensä tarvitse ottaa huomioon, sillä pienillä jännitteillä niiden suhde resistanssiin on pieni. Verkostoanalysointijärjestelmää varten tietokannasta tarvittavia tietoja ovat muun muassa johdinlaji, pituus ja ikä. Johdinvalmistajat julkaisevat taulukoita, joista löytyy laskentaa varten tarkkoja tietoja johtojen ominaisarvoista. Kuvassa 9 on esitetty johtojen π - ja T-sijaiskytkennät, joista yleisemmin käytetään π -sijaiskytkentää.

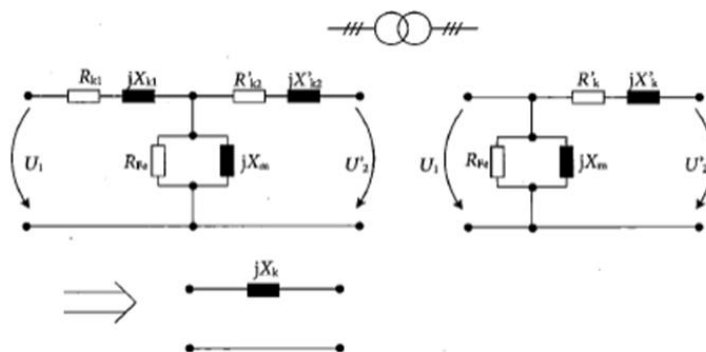


Kuva 9. Kuva. Johdon π ja T-sijaiskytkennät [5, s. 97].

Verkkotietojärjestelmästä olisi hyvä löytyä johtojen ominaisarvojen taulukointimahdollisuus. Erityisesti kaapeleille tarvitaan mittauksia ominaisarvojen luotettavaksi selvittämiseksi, sillä arvot muuttuvat kaapelin eristystavasta, vaipasta, asennustavasta ja -paikasta riippuen. [5, s. 97–100.]

5.2 Muuntajat

Tehonjako-, vikavirta- ja dynamiikkalaskelmissa muuntajat kuvataan yleensä oikosulkuimpedanssillaan. Muuntajien kilpiarvoissa ilmoitetaan esim. ensiö- ja toisiopuolen jännitteet U_1/U_2 , mitoitus-teho S_R , oikosulkujännite U_k (tai suhteellinen arvo u_k), suhteellinen oikosulkuimpedanssi u_z , nimelliskuormitushäviöt P_k ja tyhjäkäyntihäviöt P_0 . Oikosulkujännite tarkoittaa jännitettä, jolla syötetyssä oikosuljetussa muuntajassa kulkee muuntajan mitoitusvirran suuruinen virta. Tietokannasta tarvittavia tietoja muuntamosta ovat ainakin muuntamorakenne (tähti-, kolmio- vai hakatähtikyt-kentä) ja muuntamon sijainti. Kuten johdot myös muuntajat ovat symmetrisiä jokaisessa vaiheessa ja siksi kätevintä on kuvata muuntajaa yksivaiheisella sijaiskytkennällä. Muuntajan yksivaiheinen sijaiskytkentä on esitetty kuvassa 10. [1, s. 27; 5, s.130–132.]



Kuva 10. Kuva. Kaksikäämitysmuuntajan sijaiskytkentä [5, s. 131].

Muuntajien oikosulkuimpedanssit, -resistanssit ja -reaktanssit lasketaan kaavoilla

$$\underline{Z}_k = R_k + jX_k, \quad (22)$$

$$R_k = u_r \frac{U_N^2}{S_N}, \quad (23)$$

$$X_k = u_x \frac{U_N^2}{S_N}, \quad (24)$$

jossa

R_k on muuntajan oikosulkuresistanssi

X_k on muuntajan oikosulkureaktanssi

u_r on muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi

u_x on muuntajan suhteellinen oikosulkureaktanssi

U_N on muuntajan nimellisjännite

S_N on muuntajan nimellisteho. [5, s.130–132.]

Voimansiirtojärjestelmässä muuntaja on epäjatkuvuuskohta ja laskelmien tulokset muuttuvat riippuen käytetäänkö laskuissa ensiö- vai toisiopuolen jännitearvoa [5, s.142]. Tämän takia laskelmat on mielekästä tehdä vain jos kaikkia tarkasteltavia suureita käsitellään suhteellisarvoina tai samaan jänniteportaaseen redusoituna [5, s. 130–135].

5.3 Generaattorit

Generaattorien yksinkertaiset sijaiskytkennät ovat samantyyllisiä kuin johdoilla. Generaattorin reaktanssiarvoja käytetään esimerkiksi oikosulkuvikojen laskennallisessa paikantamisessa. [1, s. 26.] Generaattorin resistanssi lasketaan muuntajien tavoin kaavalla 23 ja reaktanssi koneen jänniteportaassa lasketaan kaavalla

$$X_d = x_d \frac{U_R^2}{S_R}, \quad (25)$$

jossa

x_d on suhteellinen tahtireaktanssi

U_R on koneen mitoitusjännite

S_R on koneen mitoitus-teho.

Generaattoreiden vaikutukset sähköverkkoon on tärkeä tietää, sillä väärin viritettynä generaattorit voivat vaikuttaa verkon vaimennukseen ja heilahteluihin. [5, s. 135–139.]

5.4 Kuormat

Kuormat kuvataan verkostolaskennassa yleensä jännitteestä ja taajuudesta riippuvina suureina mutta mahdollista on kuvata niitä myös vakiotehokuormina, jotka eivät muutu jännitteen ja taajuuden muuttuessa. Kuormituksella ja sen muutoksilla on huomattava vaikutus verkon siirtokyvyn ja jännitetason laskennassa. Loistehokuorma on yleensä kuvattu jännitteeseen suoraan verrannollisena vakiovirtakuormana. Jännitteen laskiessa loistehon kulutus kasvaa.

Simuloidessa verkolle pahinta tilannetta kuormat kuvataan jännitteestä riippumattomina vakiotehokuormina. Tällöin saadaan huonommat tulokset kuin muilla kuvaustavoilla tai todellisuudessa. Verkon kuormitus muuttuu ajan saatossa esimerkiksi uudisrakentamisen ja teollisuudessa käytettyjen puolijohdesyöttöisten kuormien yleistyneen käytön takia. Esimerkiksi puolijohdesyöttöisten kuormien tapauksessa jännite- ja taajuusriippuvuuden lisäksi muuttuvat myös kuormien pätö- ja loisteho-osuuksissa. Näiden mahdollisten muutosten takia verkosta täytyy mitata kuormien jännite- ja taajuusriippuvuuksia. [5, s. 139–140.]

6 Käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmät

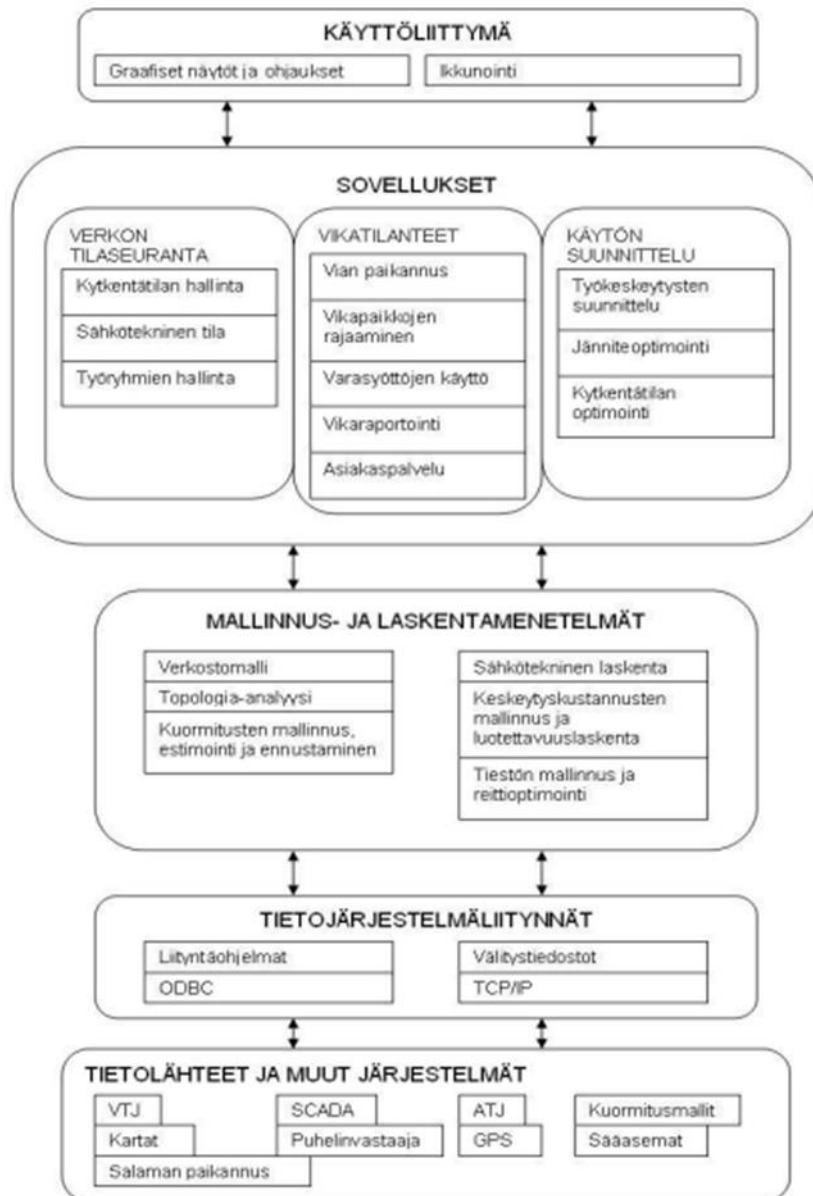
Käytönvalvontajärjestelmässä eli SCADA:ssa (Supervisory Control and Data Acquisition) tärkeimpiä sovelluksia ovat katkaisijoiden ja erottimien kauko-ohjaus, tapahtumätietojen ja verkon kytkentätilan hallinnointi sekä tehohuippujen hallinta ja rajoittaminen. Järjestelmän tarkoituksena on esittää verkon reaaliaikainen tila olemalla yhteydessä muun muassa kaukokäyttöisiin sähköasemiin.

Käytönvalvontajärjestelmä toimii mittaus- ja kytkintietojen välittäjänä käytöntukijärjestelmään. Kun näihin järjestelmiin lisätään verkkotietojärjestelmän tiedot, ne muodostavat kattavan kokonaisuuden sähköverkon tiedoista, kuten verkon rakenteesta, laitteistoista ja tilatiedoista. [14, s. 4.]

Käytöntukijärjestelmällä eli DMS:llä tai KTJ:llä tarkoitetaan ohjelmistoa, jossa on monipuolisia sovelluksia verkonkäyttötoiminnan suunnittelun avuksi. Järjestelmän tarkoituksena on helpottaa hallitsemaan erilaisia jakelun häiriötilanteita sekä suunniteltuja kytkentätöitä ja keskeytyksiä erilaisin mallinnus- ja laskentamenetelmin. Järjestelmällä on mahdollista myös suorittaa verkon tilan seuranta ja käytön optimointia. Laskennallisen vikojen paikantamisen, monipuolisen vikailmoitusten hallinnan ja erilaisten reaaliaikaisten analyysien ansiosta jakelunpalautus on tehokasta ja optimaalista.

Käyttöliittymä on yleensä graafinen ja ikkunoitu. Käytöntukijärjestelmä hakee ja yhdistelee tietoja useasta eri lähteestä, analysoi, laskee, päättelee ja optimoi verkon toimintoja. Järjestelmä kertoo verkon käyttäjälle toimintaohjeita ja ohjaa tarvittaessa verkon kytkinlaitteita automaattisesti SCADA:n kautta.

Käytöntukijärjestelmän sovelluksiin kuuluvat muun muassa kytkentätilan hallinta, sähköteknisentilan reaaliaikainen laskenta ja analyysi, vian paikannus, vikaraportointi sekä työryhmien hallinta. Kuvassa 11 on esitetty käytöntukijärjestelmän eri tasot ja pääsovellukset.



Kuva 11. Käyttötukijärjestelmän tasot ja pääsovellukset [1, s. 238].

Edellä mainittujen sovellusten toimintojen käyttöön tarvitaan mallinnus- ja laskentamenetelmiä, joita ovat esimerkiksi verkkotopologian analyysi, sähkötekkinen laskenta sekä kuormitusten mallinnus, arviointi ja ennustaminen. Tietojärjestelmän liityntätaso sisältää liityntöihin tarvittavat ohjelmat, rajapinnat ja välitystiedostot. Käyttötukijärjestelmän käyttämiä tietolähteitä ja muita järjestelmiä ovat käytönvalvonta- ja verkkotietojärjestelmän lisäksi esimerkiksi asiakastietojärjestelmä (ATJ, CIS, Customer Information System) kartat, kuormitusmallit ja sääasemat. [15, s. 61–66.]

7 Haastattelut

Haastattelut suoritettiin kolmen verkkoyhtiön kanssa. Haastattelussa käytetyt kysymykset on esitetty liitteessä 1. Tarkoituksena oli selvittää verkkoyhtiöiden nykytilannetta verkkotietojärjestelmien suhteen ja kerätä yhteen toiveita ja puutteita liittyen Keypron toimittamiin tuotteisiin sekä tulevaan verkkotietojärjestelmään.

7.1 Helen Sähköverkko Oy

Helen käyttää KeyLightia pääasiassa vain paikkatietojärjestelmänä. Näin tulee olemaan myös tulevan KeyEnergyyn kanssa. Tärkein piirre ohjelmalla siis on esittää esim. kaapeleiden tarkat sijainnit. KeyEnergy on tulossa käyttöön vuoden 2015 alussa. KeyLight-pohjainen ohjelma on ollut Helenillä testikäytössä kevästä 2014 alkaen. Se on koettu helppona käyttää eikä sen kanssa ole tullut esiin mitään suurempia ongelmia. Verkkotietojärjestelmänä Helen Sähköverkko Oy:ssä käytetään Teklan Tribble NIS:iä.

Helenillä isoin ongelma oli tiedostot, koska ohjelma tunnistaa vain PIH-muotoiset tiedostot ja Helenillä käytetään dgn-muotoisia tiedostoja. Dgn-tiedostojen muuntaminen PIH-muotoon aiheuttaa turhia välivaiheita. Toisaalta KeyEnergyyn on jo suunniteltu tähän muutoksia ja tulevaisuudessa pitäisi olla mahdollista käyttää myös dgn-muotoisia tiedostoja. Lisäksi ongelmaksi koettiin nimiöiden puute. Koska käytetty ohjelma on tehty KeyLightin päälle, niin kaikki nimiöt sähköverkon osalta puuttuvat. Pääasiassa nimiöt on tarkoitettu tele- ja valaisinsuunnitteluun. Tämän takia syntyy epäselvyyksiä nimien kanssa (esim. kaapelin sijoituspaikkavaihtoehtona ”oja”, vaikka sähkökaapeleita ei ojiteteta). Lisäksi on paljon turhia asioita, kuten valaistuspylväät kartalla. Taustakarttojen hallinnassa koordinaatiston valinta on koettu vaikeaksi. Toiveissa olisi, että ohjelma osaisi itse laskea koordinaattialueen. Tasojen hallinnassa ”tasot”-välilehden nimi voisi olla ”kartta” epäselvyyksien välttämiseksi. Zoomaus on ongelma sillä pienellä liikkeellä zoomaa helposti liikaa. ”Tulee helposti koko Helsingin alue näkyviin”. Zoomausongelmien välttämiseksi voisi rajoitteeksi laittaa esim. että voi zoomata maksimissaan 3 tasoa kerrallaan. Toiveissa olisi myös, että olisi mahdollista zoomata vielä pienempään tasoon kuin 1:2, joka on pienin tämänhetkinen zoomaustaso. Tämä olisi tärkeä ominaisuus esim. putkien käsittelyn kannalta. Versiopäivityksiä pitäisi myös parantaa. Esim. IE9:n

kanssa ollut ongelmia ominaisuuksien kanssa, kun jotkut ominaisuudet eivät toimi ja toiminta tökkii. Kaiken kaikkiaan web-mahdollisuutta pidettiin hyvänä näitä muutamia puutteita lukuun ottamatta.

Myös mobiilimahdollisuutta pidettiin tervetulleena ominaisuutena. Ihmetystä herätti, miksei mobiiliversio ole karttajärjestelmän osalta samanlainen kuin web-versiossa. Yhdenmukaisuuden ja selkeyden takia olisikin hyvä jos mobiiliversio vastaisi web-versiota ulkonäöltään. Käytön ja toimivuuden kannalta kannattaa luonnollisesti mobiiliversiosta karsia asiakkaan mielestä mahdollisesti turhia ominaisuuksia pois.

Toiveena olisi, että käyttäjän kirjauduttua ohjelmaan omalla profiilillaan aukeaisi ohjelmaan automaattisesti käyttäjälle henkilökohtaisesti määritetty karttapohja ja sen säädöt. Nykyään ohjelma avaa kaikille samanlaisen kartan ja säädöt, jolloin vie turhaa aikaa säätää asetukset mieleiseksi. Plussaa ohjelma sai siitä, että käyttäjä voi kuitenkin itse valita käytettävän karttapohjan. Indeksikartta olisi hyvä lisä, jotta alueen valittuaan käyttäjälle avautuisi dokumentit siitä, mitä kaikkea alueelta löytyy (esim. asuinrakennukset, johtotyytit). Nykyään saa vain linkin mistä alueen dokumentit löytyy. Tool Tips-ominaisuus olisi myös kätevä. Eli se näyttäisi tiettyjä ominaisuustietoja valitusta kohteesta. Esim. se kertoo onko kartalla näkyvä harmaa neliö asuinrakennus, julkinen rakennus vai tyhjä tontti. Helenille olisi tärkeää saada myös omaan käyttöön suunnitellut symbolit kuvaamaan verkon eri komponentteja.

Helenin osalta voitaisiin siis todeta, että yhtiön työntekijöiden mielestä ohjelmaa on ollut suhteellisen helppo käyttää mutta epäselvyyksiä syntyy esim. välilehtien väärin nimitysten kanssa. Lisäksi turhat ominaisuudet olisi hyvä poistaa tulevassa versiossa, sillä Helen ei tarvitse esim. tele- tai valaistussuunnitteluun käytettäviä termejä tai ominaisuuksia, kuten pylvään kunnostus tms. Puheeksi tuli myös asiakaspalvelu. Toivottiin, että esim. päivitysten aikana tiedotettaisiin työn kulusta ja kerrotaisiin jos päivityksessä ilmenee ongelmia ja viivästyksiä. [16.]

7.2 ESE-Verkko Oy

ESE-Verkko Oy:llä on käytössä kaksi Keypron tuotetta. StellaJohto on otettu käyttöön ensimmäisenä. Se otettiin yhtiössä käyttöön vuonna 2007. ESE-Verkko Oy käyttää Stel-

laJohtoa työasemana, jolla työmateriaali tuotetaan. StellaJohdon avulla maastosta kar-
toitetusta datasta tehdään kartta jonka pohjalle viedään kaapelireitit rajapinnan kautta.
KeyLightia Ese-Verkolla käytetään eräänlaisena tiedonjakovälineenä, jonka kautta kart-
tatieto jaetaan talon sisällä sekä muutamalle urakoitsijalle. KeyLightiin on liitetty myös
KeyYJK, jolla päästään tutkimaan mm. vesilaitoksen, puhelinyhtiöiden ja -operaattorien
johtotietoja. KeyYJK:hon on suunnitelmissa myös lisätä katuvalot ja vianhallinta. Verk-
kotietojärjestelmänä ESE-Verkko Oy:ssä käytetään ABB:n Integraa. Integran avulla oh-
jataan verkkoa esim. sulkemalla tai avaamalla kytkentöjä. Se myös sisältää kaikkien ja-
kokaappien ja sulakkeiden tiedot. Nämä tiedot ovat myös tuotavissa KeyLightiin liitetie-
dostona. Ongelmana Integrassa on, että se on koettu ahtaaksi ja lukituksi järjestelmäksi,
jossa dwg- ja dgn-muotoiset kartat menevät monimutkaisten rajapintojen läpi, joka johtaa
visuaalisuuden särkymiseen ja sotkuiseen kokonaisuuteen. Lisäksi se toimii vain pie-
nessä mittakaavassa ja yhdellä koneella.

Kuten Helen Sähköverkko Oy myös ESE-Verkko Oy käyttää KeyLightia pääasiassa säh-
köverkon mallintamiseen. KeyLightin avulla tehdään mm. sähköjohtokarttoja ja sitä käy-
tetään myös uusien johtosuunnitelmien pohjana. Ohjelmasta löytyy myös katuvaloverkko
sekä liikennevalot. Kaukolämpöverkko löytyy kartalta jäykkänä kuvana, eli sitä ei voi
muokata.

ESE-Verkko Oy:llä on Helen Sähköverkko Oy:n tapaan koettu päivitysten kanssa ongel-
mia. Version vaihdon jälkeen ongelmana on ollut, että viitteet ja liitetiedostot eivät päivity.
Toivottiin myös, että kun luvataan korjauksia ohjelmaan, pidettäisiin paremmin yhteyttä
jos ongelmia ja viivästyksiä ilmaantuu. Asiakaspalvelu onkin tärkeä piirre, sillä sen avulla
voi helposti erottua edukseen kilpailevista yritysistä.

Kokemuksen mukaan ohjelman tämänhetkiset ominaisuudet ovat riittävät ESE-Verkko
Oy:n käyttöön. Kaapeleista on jo olemassa riittävästi dataa. Muun muassa verkon kom-
ponenteista, yhteiskäytöstä ja pylväistä ei yhtiöllä ole dataa ja yhtiön pitäisi itse kerätä
sitä enemmän, jotta ohjelmasta voisi saada enemmän hyötyä. Katukuvien lisääminen
karttaan on tuonut visuaalista hyötyä ja se auttaa verkon suunnittelussa. ESE-Verkko
Oy:llä on KeyLightissa suunnitelma-karttataso, jossa tehdään maastosuunnittelua ja jo-
hon haetaan kaapelireitit ja -paikat. Tämä on helpottanut ns. rautalankamallien suunnit-
telua. Kiitosta KeyLight sai sen muokkautuvuudesta. Kritiikkinä sanottiin zoomausmah-
dollisuus. Ohjelmalla ei pysty zoomaamaan tarpeeksi lähelle.

Mobiiliversio sai myönteistä palautetta. Tärkeimmiksi ominaisuuksiksi todettiin tarkka kartta ja kaapeleiden sijaintitiedot. Ominaisuustietoja ei mobiiliversiossa tarvita. Ehdotuksina mobiiliversioon ehdotettiin info-ikkunoita, joihin voi liittää lyhyen työnkuvan. Lisäksi olisi kätevää jos olisi mahdollisuus piirtää uusi mahdollinen kaapelin paikka. Kuvien liittäminen halutulle alueelle olisi hyvä ominaisuus. Lisäksi versioon voisi liittää GPS-paikannuksen, jolloin kartalle ilmestyy piste, jossa käyttäjä on ja joka liikkuu sitä mukaa, kun käyttäjä kävelee, jolloin sijainnin tarkka seuraaminen helpottuu.

Puhuttaessa ihanteellisesta verkkotietojärjestelmästä pohdittiin ohjelmiston laajuutta. Olisi toivottavaa, että ohjelmasta löytyisi kaikki mahdollinen tieto ja paljon eri ominaisuuksia. Tämä tosin johtaa siihen, että ohjelmasta tulee raskas ja dokumentoinnin kanssa voi tulla ongelmia. Suurta tietomäärää on vaikea ylläpitää ja ongelmaksi muodostuu sijainti- sekä ominaisuustiedollisuuden oikeellisuus. Sijaintitiedon tarkkuus on tärkeää ja siihen tulee voida luottaa, sillä virheelliset tiedot voivat aiheuttaa suuriakin kustannuksia, kun verkkoa rakennetaan. Suuren tietomäärän ylläpitäminen vaatii myös enemmän resursseja, mistä syntyy yhtiölle enemmän kustannuksia. Onkin siis perusteltua pohtia tarkkaan, mitkä ovat ne kriittiset ominaisuudet, joita verkkotietojärjestelmästä tulisi löytyä. Tämän takia tiivis yhteistyö palveluntarjoajan ja käyttäjän välillä on tärkeää ja ohjelmaa tulisi voida muokata käyttäjän tarpeiden mukaan.

Todettiin, että tarvetta olisi järjestelmälle, joka yhdistäisi karttatiedon ja verkkotietojärjestelmän aukottomasti yhteen, jotta ei tarvittaisi kahta eri ohjelmistoa. Olisiko siis Keypro se, joka pystyy ratkaisemaan, miten saadaan kartta, paikkatietojärjestelmä sekä sähköinen verkkotietohallinta samaan ohjelmaan? Toiveissa olisikin, että valvomossa olisi käytössä vain yksi ohjelmisto kaikkea tätä varten. Ideaalitulanteessa tämä toimisi sekä web-versiona että mobiiliversiona. Mikäli verkkotietojärjestelmä saadaan toimimaan web-versiossa, voisi tulevaisuudessa siis pohtia mobiiliversion soveltuvuutta laajan verkkotietojärjestelmän käytössä. Verkkotietojärjestelmään lisättävä symbolikirjasto koettiin myös tärkeäksi ominaisuudeksi kuin myös symboleiden muokattavuus omaan käyttöön sopivaksi. Käytössä ESE Verkolla on standardipohjaiset symbolit. [17.]

7.3 Valkeakosken Energia

Valkeakosken Energialla on käytössään KeyUtilis 1.6. Sitä käytetään sijaintitietokarttojen tekoon kaupunkialueella eli toisin sanoen maakaapelialueella. Sillä ylläpidetään yhdistelmäkarttaa, josta löytyy sähköverkon lisäksi kaukolämpöverkko, katuvalot, liikennevalot sekä teleoperaattoreiden kaapelit. Ohjelmaa käytetään apuna verkon tutkimuksessa ja sen avulla lähetetään sijaintitietoja sitä tarvitseville osapuolille. Nykyinen web-versio on ollut Valkeakosken Energian käytössä noin vuoden verran. Koska Valkeakosken Energia on ollut mukana kehittämässä tuotetta, vastaa se heidän toiveitaan hyvin. Aiemmin Valkeakosken Energialla oli käytössään StellaJohto mutta se vaihdettiin KeyUtilikseen, sillä ohjelma haluttiin päivittää web-pohjaiseksi. Web-pohjaisuuden ansiosta ohjelmaan oli mahdollista lisätä enemmän käyttöliittymiä ja sitä pystyy käyttämään millä koneella tahansa, kunhan vain siinä on internetyhteys. Mobiiliversiolle Valkeakosken Energialla ei ole käyttöä, sillä pienellä alueella toimiessa on huomattu web-version toimivan myös maastossa moitteettomasti.

Ongelmia on esiintynyt tulostuksen kanssa. Kartan rajausruutu häviää välillä ja se vaikeuttaa tulostusta, sillä pitäisi arvata missä kohtaa rajausruutu suurin piirtein menee. Lisäksi tulostuksessa kestää joskus liian kauan. Myös putkien ja kaapeleiden katkaisussa ilmenee ongelmia, sillä välillä ohjelma näyttää virheviestin. Ohjelma ei aina ymmärrä kaapeleiden ja putkien viitetietoja. On koettu myös, että nimiöissä on vielä jäänteitä telekäytöstä ja ne tulisi muuttaa sähköverkkoon sopivaksi. Kuten Helen Sähköverkko Oy:llä ja ESE-Verkko Oy:llä myös Valkeakosken Energialla on ollut ongelmia zoomauksen kanssa. Se on koettu liian pykäläiseksi. Portaattomamman zoomauksen lisäksi toivottiin, että olisi mahdollista zoomata nykyistäkin lähemmäksi tutkittavaa kohdetta. Lisäksi viitteisiin toivottiin lisäyksiä, jotta saadaan luotua tarvittavia viitteitä. Seuraavaan päivitykseen tulisi lisätä myös mahdollisuus liittää karttaan dwg-kuvia.

Verkkotietojärjestelmänä Valkeakosken Energialla käytetään Teklan toimittamaa Trimble NIS:ää. Se on toiminut käyttötarkoituksessansa hyvin. Ihanteelliseksi verkkotietojärjestelmäksi kuvailtiin ohjelmaa, joka on erityisesti toimiva mutta myös helppokäyttöinen. Verkkotietojärjestelmästä tulisi saada tietoa verkon kunnosta ja tilasta, jotta voidaan suunnitella seuraavia investointeja. Pitäisi myös päästä tarkastelemaan verkon kuormitusta, huoltotilannetta ja -tarvetta sekä tehtyjä tarkastuksia ja mahdollisia määräyksiä. Laskentaominaisuuksista tärkeimmät ovat tehonjako, oikosulkuvirrat sekä keskijännitepuolella maasulkujen laskenta. Etäluettavuus on tärkeää, sillä suuri määrä mittaustietoa

mahdollistaa uudentyyppisten kuormitusmallinnusmenetelmien käyttämisen ja kuormitusmallien parantuminen näkyy myös verkostolaskennan tarkentumisena. Myös viat pitäisi pystyä paikallistamaan verkkotietojärjestelmän avulla ja mahdollisuus dms-kaukokäyttöön olisi suotavaa. Standardipohjainen symbolikirjasto koettiin hyväksi ideaksi ja toiveissa oli, että symbolikirjaston symboleita olisi mahdollista muokata. [18.]

8 Yhteenveto

Verkkotietojärjestelmän tärkeimpiä ominaisuuksia ovat verkon tarkka mallinnus ja monipuoliset dokumentointimahdollisuudet. Monipuolisessa järjestelmässä tulee olla mahdollisuus hoitaa verkon suunnittelua, kunnossapitoa ja rakennuttamista. Kaikki muutokset, joita verkkoon tehdään, tulee voida tallettaa tarkasti verkkotietojärjestelmään, jotta se pysyy ajan tasalla. Järjestelmästä tulee löytyä mittaukset, uudet linjat ja kaapeloinnit, sähköasemapiirrokset ja muuntajat ja niiden sähkötekniset arvot. Esimerkiksi kaapeleista merkitään merkki, pituus ja asennusvuosi.

Verkkotietojärjestelmällä tulee voida tarkastella verkon ja sen komponenttien kuntoa ja tilaa sekä huolto- ja tarkastustietoja, jotta investointien suunnittelu helpottuu. Lisäksi tulisi voida taulukoida ja analysoida verkon arvoa. Oleellinen ominaisuus on myös kuormitus-tilanteen ajantasainen tarkastelumahdollisuus. Näin voidaan tarvittaessa ohjata tehoja tarvittaviin kohteisiin ja huomata mahdolliset ongelmakohdat verkon toiminnassa. Jotta tämä olisi mahdollista, täytyy järjestelmään integroida tarvittavat etäohjausjärjestelmät.

Laskennallisista ominaisuuksista tärkeimmät ovat oiko- ja maasulkuvirrat, jännitteenalenemat sekä tehon jako. Suunnittelun helpottamiseksi verkkotietojärjestelmässä olisi hyvä olla valmiina taulukoituna esimerkiksi oikosulkuvirroille ja jännitteenalenemille standardien mukaiset raja-arvot, jolloin järjestelmä voisi ilmoittaa mikäli raja-arvot ylittyvät tai alittuvat.

Käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmät ovat verkkotietojärjestelmän monipuolisuuden kannalta tärkeitä ominaisuuksia. Näiden tulisi olla silti vasta pidemmän tähtäimen kehityskohta, sillä luonnollisesti tärkeämpää on saada järjestelmän perustoiminteet kuntoon. Järjestelmässä tulisi kuitenkin olla valmius jo olemassa olevien käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmien tukeen. Lisäksi esimerkiksi sähkömittareiden ja erinäisten komponenttien etäluettavuus olisi kätevä lisäominaisuus.

Nykyisten sähkönkulutusmittareiden takia järjestelmän tulisi voida suorittaa kaksisuuntaista liikennöintiä kuluttajan ja sähkönjakeluyhtiön välillä. Kaksisuuntainen tiedonsiirto auttaa myös erottimien ohjauksessa, joten kalliista investoinnista huolimatta on perusteltua luoda järjestelmä joka pystyy tällaiseen tiedonsiirtoon tai vähintäänkin on helposti laajennettavissa yksisuuntaisesta kaksisuuntaiseksi.

Haasteena on kehittää monipuolinen mutta yksinkertainen järjestelmä, jota on helppo muokata käyttäjälleen sopivaksi. Tekniikan jatkuvasti kehittyessä tulee järjestelmän suunnittelussa huomioida myös sähkönjakeluautomaation mahdollisuudet nyt ja tulevaisuudessa.

Lähteet

- 1 Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo. 2009. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Ota-tieto.
- 2 Powerpoint-esitys Keypron tuotteista. Yrityksen sisäinen materiaali. Keypro Oy.
- 3 Trimble NIS Verkkotietojärjestelmä verkko-omaisuuden dokumentointiin ja hallintaan. Verkkodokumentti. Tekla. <<http://www.tekla.com/fi/tuotteet/trimble-nis>>. Luettu 6.1.2015.
- 4 Verkkotietojärjestelmä Open++ Integra v.3.2 Käyttöohje. 2001. Verkkodokumentti. ABB. <[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot229.NSF/VerityDisplay/5EB087DFE5A46483C125729C005D6932/\\$File/Integra.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot229.NSF/VerityDisplay/5EB087DFE5A46483C125729C005D6932/$File/Integra.pdf)>. Luettu 6.1.2015.
- 5 Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot 1. Helsinki: Otatiето.
- 6 Jännitteenalenema. Verkkodokumentti. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/jannitteenalenema_tehohaviot.pdf>. Luettu 24.1.2015.
- 7 Meriläinen, Keijo. 2013. Uusien teknologioiden hyödyntäminen sähkönjakeluverkossa. Opinnäytetyö. Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu.
- 8 Simonen, Martti. 2006. Sähkönjakeluverkon suunnitteluperusteet. Diplomityö. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.
- 9 Sähköenergialiitto ry SENER. Verkostosuositus SA5:94: Keskijänniteverkon sähköinen mitoittaminen. Helsinki: Adato Energia Oy.
- 10 Energiateollisuus Ry. Verkostosuositus SA2:08: Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen. Helsinki: Adato Energia Oy.
- 11 Alatalo, Risto. 2015. Keskijännitejakeluverkon oikosulkuvirtojen laskenta ABB DOC-laskentaohjelmalla. Opinnäytetyö. Karelia Ammattikorkeakoulu.
- 12 Partanen, Jarmo. 2011. Maasulkusuojaus. Verkkodokumentti. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. <<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0500/luennot/maasulkusuojaus.pdf>>. Luettu 24.1.2015.
- 13 SFS 6000-801-8. Pienjännitesähköasennukset. 2012. Eräitä asennuksia koskevat täydentävät vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 14 Miettinen, Jari. 2011. Sähköverkkojen käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmien käyttöönotto. Kandidaatintyö. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.

- 15 Raussi, Tommi. 2009. Käytöntukijärjestelmän toiminnoista saatavat hyödyt ja niiden analysointi. Diplomityö. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.
- 16 Manninen, Atte. 2014. Kartoittaja, Helen Sähköverkko Oy, Helsinki. Haastattelu 13.11.2014.
- 17 Levänen, Antero. 2014. Maanmittausinsinööri, ESE-Verkot Oy, Mikkeli. Haastattelu 17.11.2014.
- 18 Oksala, Olli & Vatanen, Arto. 2014. Suunnittelija, Valkeakosken Energia Oy, Valkeakoski. Haastattelu 27.11.2014.

Haastatteluiden kysymykset

Verkkoyhtiöiden haastatteluissa käytetyt kysymykset.

1. Mikä Keypron tuote teillä on käytössä?
2. Millaiseen tarkoitukseen tuotetta käytetään?
3. Kauanko Keypron tuote on ollut teillä käytössä?
4. Mikä ohjelma teillä on aiemmin ollut käytössä työssänne?
5. Miksi vanha ohjelma vaihdettiin Keypron tuotteeseen?
6. Oliko Keypron ohjelmisto helppo ottaa käyttöön?
7. Oppiko ohjelman käytön helposti?
8. Onko tullut vastaan (toistuvia) ongelmatilanteita ohjelman käytössä?
9. Onko yhteistyö Keypron kanssa toiminut hyvin esim. ongelmatilanteissa?
10. Mitä osa-alueita pitäisi kehittää, jotta tuote palvelisi paremmin käyttötarpeita? (käyttöjärjestelmä, toiminnallisuus, tietojen päivitettävyyys, rajapinnat, jne.)
11. Millainen on ihanteellinen verkkotietojärjestelmä? Toiveita tulevaisuuden ohjelmistoon?
12. Ovatko käyttämänne symbolit täysin standardipohjaisia vai omaan käyttöönne sopivaksi suunniteltuja? Onko standardipohjaisuus ja symbolikirjaston symboleiden muokausmahdollisuus mielestänne tärkeitä ominaisuuksia?